

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES

HERRAMIENTAS PARA LA DOCENCIA
EN AUTOMÁTICA ORIENTADAS
HACIA LA METODOLOGÍA ECTS

TESIS DOCTORAL

AUTOMÁTICA Y ROBÓTICA

IVÁN SANTANA CHING

Máster en Automática

Marzo, 2012

DEPARTAMENTO DE AUTOMÁTICA, INGENIERÍA
ELECTRÓNICA E INFORMÁTICA INDUSTRIAL
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES

HERRAMIENTAS PARA LA DOCENCIA EN AUTOMÁTICA ORIENTADAS HACIA LA METODOLOGÍA ECTS

TESIS DOCTORAL

AUTOMÁTICA Y ROBÓTICA

Autor: Iván Santana Ching
Máster en Automática

Directores: D. Manuel Ferre Pérez
Dr. Ingeniero Industrial
D. Luis Hernández Santana
Dr. Ingeniero en Control Automático

Marzo, 2012

HERRAMIENTAS PARA LA DOCENCIA EN AUTOMÁTICA ORIENTADAS HACIA LA METODOLOGÍA ECTS

Autor: Iván Santana Ching

Tribunal

Presidente: D. Rafael Aracil Santonja

Secretario: D. Ángel García Beltrán

Vocal A: D. Fernando Torres Medina

Vocal B: D. Oscar Reinoso García

Vocal C: Dña. María Dolores Blanco Rojas

Suplente A: D. Antonio Giménez Fernández

Suplente B: D. Luis Miguel Jiménez García

Acuerdan otorgar la calificación de:

Madrid,

de

de 2012

A mis niños, Eric y Kevin,

a mi esposa, Leticia

y, a mis padres...

Dime y lo olvido, enséñame y lo recuerdo, involúcrame y lo aprendo.

Benjamin Franklin(1706-1790)

AGRADECIMIENTOS

Esta tesis es fruto del trabajo y la colaboración de muchas personas presentes en mi vida profesional y personal, quisiera agradecerles de corazón a todas ellas su apoyo.

Esta investigación, en el plano profesional, es resultado de la cooperación de dos universidades, la Universidad Central “Marta Abreu” Las Villas y la Universidad Politécnica de Madrid, por lo que mi lista de agradecimientos será un poco extensa.

En primer lugar quisiera dar las gracias a mis directores de Tesis, Dr. D. Manuel Ferre y Dr. D. Luis Hernández que me han orientado todos estos años. No puedo olvidar la especial relación establecida con Dr. D. Rafael Aracil y con D. Enrique Pinto, todas las sugerencias realizadas por ellos a lo largo de este trabajo. A Dr. D. Ángel García Beltrán agradezco todo el apoyo ofrecido con la plataforma AulaWeb. Quisiera igualmente expresar mi gratitud a todos los profesores del Máster en Automática y Robótica que contribuyeron a mi formación durante los 30 créditos de asignaturas: Dr. D. Agustín Jiménez, Dr. D. Ramón Galán, Dr. D. José María Sebastián, Dr. D. Antonio Barrientos, Dr. D. Ricardo Sanz, Dr. D. Sergio Domínguez, Dr. D. Roque Salterén, Dr. D. Claudio Rossi y Dr. D. Manuel Álvarez. Tampoco puedo olvidar a Dr. D. Fernando Matía por la asesoría prestada en la redacción de la tesis. Sería penoso dejar a un lado el apoyo y colaboración de Teresa Olmos, Rosa Ortiz, Carlos Sánchez y los miembros del laboratorio Ángel Martínez y Jaime del Cerro. También agradezco a los miembros del Grupo de Robots & Máquinas Inteligentes, a: José María Cogollor, Ignacio Galiana, Jordi Barrio, Raúl Wirz, Francisco Suárez, José Breñosa, Héctor Moreno, Isela Carrera, Sandra Campo, Juan Boned, Alexander Owen-Hill y Prithvi Pagala con los que he tenido una estrecha relación.

Por supuesto no puedo olvidar a mis profesores y compañeros en la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, en especial a Dalgys por tanta colaboración prestada. Quisiera reconocer a los miembros del Departamento de Automática y Sistemas Computacionales: Abreu, Borroto, María, Boris, Ballesteros, Luis, Alain, Rubio, Izaguirre, Gilberto, Yidier, Robby y Fidel. Agradezco de igual forma a los miembros del Programa de Cooperación Universitaria Institucional (IUC) de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas (UCLV) con el Consejo de

Universidades Flamenca (VLIR) que hicieron posible mi estancia en la Universidad Politécnica de Madrid.

No puedo pasar por alto a mi familia, por tantos años de apoyo y etapas de lejanía. Doy gracias a mis padres por la formación inculcada y el apoyo prestado. Reconozco igualmente a Cary, Elena, Cristina, Mendoza y Elias, pues sin su ayuda hubiera sido imposible la realización de esta tesis.

De una forma muy especial quisiera agradecer a mi esposa por su amor y comprensión durante los meses de separación y por velar la educación de nuestros hijos; y a mis niños, Eric y Kevin, por no reprocharme nunca mi ausencia a tan importantes momentos de sus vidas.

Muchas gracias a todos...

Iván Santana Ching

RESUMEN

En los últimos años se han desarrollado una amplia variedad de herramientas educativas para la docencia. En especial, los laboratorios virtuales y remotos, como medios de educación, se van imponiendo en varios campos de la docencia. La teoría de control no está ajena a este desarrollo y son cada día más las universidades que implementan estas herramientas con el objetivo de optimizar sus recursos. Por ello, en esta tesis, se realiza un análisis de varias de las plataformas de laboratorios virtuales y remotos actuales. Este estudio sirvió de base para la implementación del Sistema de Laboratorios a Distancia (SLD). El Sistema de Laboratorios a Distancia tiene como ventajas fundamentales la independencia entre las estaciones de trabajo y el servidor, lo que permite que se puedan compartir recursos entre lugares distantes, a través de Internet. Además, la posibilidad de tener más de una estación de trabajo, con la misma práctica, controladas por el mismo servidor, lo que le brinda un mayor paralelismo. Por último, mencionar el hecho de permitir la realización de prácticas en tiempo real.

En esta tesis se detalla la implementación de las prácticas remotas para el Sistema de Laboratorios a Distancia usadas en la asignatura de Regulación Automática durante los cursos 2008-2009 al 2010-2011. Estas prácticas fueron utilizadas, además de para las actividades prácticas de laboratorio, en el desarrollo de un proyecto de control, actividad ejecutada por los alumnos con un alto valor formativo. También se describen los trabajos prácticos desarrollados en el curso mediante el uso de AulaWeb.

Se propone una metodología que se nutre de los resultados de cada curso con vistas a su mejoramiento. La realización de prácticas de forma presencial y remota permite combinar las ventajas de ambos métodos. La realización presencial de prácticas en el laboratorio tiene un gran valor formativo para los alumnos, permitiéndole conocer y manipular los equipos físicos con los que trabaja. Una vez que el alumno está familiarizado con los sistemas que utiliza puede trabajar con ellos a distancia, con las ventajas que ello conlleva de puesta a punto de los equipos y optimización de los recursos. El tiempo efectivo de uso de los sistemas físicos suele ser reducido, ya que la programación y

captura de datos suele requerir entre 10 y 20 minutos. La realización de trabajos a distancia ahorra tiempo para el alumno a la vez que favorece el uso compartido de recursos. Otro aspecto de interés que surge al realizar actividades remotas es que no se limita el tiempo de utilización de los equipos, los alumnos pueden manipularlos sin restricciones de tiempo hasta que consideren que han alcanzado los objetivos deseados.

La metodología aplicada permite la adquisición de competencias en los alumnos, específicamente las competencias para diseñar y ejecutar experimentos de control; así como analizar críticamente sus resultados. Todo desde un punto de vista de trabajo en equipo, y de forma colaborativa haciendo uso de las herramientas educativas AulaWeb y el Sistema de Laboratorios a Distancia (SLD) para la implementación de los experimentos remotos sobre equipos reales.

Esta tesis se ajusta y da respuesta a los objetivos definidos como prioritarios por la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de la Universidad Politécnica de Madrid en sus líneas de prioritarias para la Innovación Educativa. De igual forma cumple con el modelo educativo de la Universidad Politécnica de Madrid (Plan de eficiencia educativa), así como con las recomendaciones sobre competencias del Consejo de Acreditación de Ingeniería y Tecnología (*Accreditation Board for Engineering and Technology*, ABET).

Se analizan los datos recogidos mediante la observación participante, las encuestas y las entrevistas grupales por cada curso académico en los que se realizó la investigación, y se proponen los cambios y mejoras para el próximo período académico. De igual forma se exponen los resultados de los alumnos en los tres cursos que duró la investigación.

Esta investigación se ha desarrollado en el marco de dos proyectos de Innovación Educativa financiados por la Universidad Politécnica de Madrid. Además, ha formado parte del Programa de Cooperación Universitaria Institucional (IUC) de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas (UCLV) con el Consejo de Universidades Flamencas (VLIR).

ABSTRACT

A wide variety of educational tools for teaching-learning process have been developed in recent years. In particular virtual and remote laboratories as education tools are being imposed in various fields of science. Control education is no stranger to this development; universities increasingly implement these tools with the aim of sharing expensive resources between them. Therefore, in this thesis, an analysis of recent several platforms and remote virtual labs has been done. This study formed the basis for implementing “Sistemas de Laboratorios a Distancia” (SLD). The platform “Sistemas de Laboratorios a Distancia” has as fundamental advantages the independence between workstations and the server, allowing resources to be shared between distant locations via the Internet. Besides, the system has the possibility of having more than one workstation, with the same practice, controlled by the same server, giving it greater parallelism. Finally, the system allows carrying out experiments in real time.

This thesis detailed the implementation of remote practices for "Sistema de Laboratorios a Distancia" used in the subject "Regulación Automática" during the courses 2008-2009 to 2010-2011. The remote practices were additionally used for development of integrated project. This activity has a high educational value for students. Also describe the practical work developed in the course using AulaWeb.

We propose a methodology that allows the iteration with a view to its improvement. Hand-on and remote practices allow combining the advantages of both methods. The hand-on practices in the laboratory has great educational value for students, allowing them to know and manipulate the hardware with they work. Once the student is familiar with the systems used he can work with them at a distance, with the advantages that entails of adjust of equipment and resources optimization. The effective time of use of the equipment tends to be reduced, since the programming and data capture typically requires between 10 and 20 minutes. The carry out of work remotely saves time for students while facilitating the sharing of resources. Another aspect that arises by combining hand-on and remote practices is that the use time of equipment is not limited,

students can use it without any time restriction until they consider have achieved the desired objectives.

The applied methodology allows the acquisition of skills in students, specifically the skills to design and implement experiments of automatic control and to analyze critically the results. All work has been done from a standpoint of teamwork and in a collaborative way using educational tools such as AulaWeb and "Remote Laboratory System" (SLD) to carry out remote experiments in the real devices.

This thesis is in conform and responds to the objectives identified as priorities by Escuela de Ingeniería Industrial de la Universidad Politécnica de Madrid on its lines for Educational Innovation. Similarly, it is in conform with the educational model of the Universidad Politécnica de Madrid (Plan of educational efficiency) as well as the recommendations made by the Accreditation Board for Engineering and Technique (ABET) about skills.

This thesis analyzes data collected through participant observation, surveys and group interviews for each academic year in which the research was done, and suggests changes and improvements for the next academic course. Similarly presents the results of students in the three years-long of investigation.

This work has been developed within the framework of two projects of Educational Innovation at Universidad Politécnica de Madrid. Also, it has been part of the Institutional University Cooperation Program (IUC) of the Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas (UCLV) with the Flemish Interuniversity Council (VLIR).

CONTENIDOS

AGRADECIMIENTOS.....	I
RESUMEN.....	III
ABSTRACT.....	V
CONTENIDOS.....	VII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XIII
ÍNDICE DE FIGURAS	XV
CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Organización de la tesis	4
CAPÍTULO 2 EDUCACIÓN EN AUTOMÁTICA	7
2.1 Educación en Automática. Muestra de estudios propios o afines en distintas regiones	8
2.1.1 Características y estructura de los estudios en Estados Unidos.....	8
2.1.2 Características y estructura de los estudios en países de América Latina y el Caribe	10
2.1.3 Características y estructura de los estudios en países de Europa	15
2.2 Estudios de ingeniería en España	24
2.3 Competencias del Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática	26
2.3.1 Competencia: Conocimientos sobre los fundamentos de los automatismos y métodos de control	30
2.3.2 Competencia: Conocimiento y capacidad para el modelado y simulación de sistemas	31

2.3.3	Competencia: Conocimientos de regulación automática y técnicas de control y su aplicación a la automatización industrial.....	32
2.3.4	Competencia: Conocimientos de principios y aplicaciones de los sistemas robotizados	33
2.3.5	Competencia: Conocimiento aplicado de informática industrial y comunicaciones ..	33
2.3.6	Competencia: Capacidad para diseñar sistemas de control y automatización..... industrial	34
2.4	Créditos y carga del estudiante. Sistema Europeo de Transferencia y Acumulación de Créditos (ECTS)	35
2.4.1	Experiencias en la implementación de los créditos ECTS	36
2.5	La evaluación continua en asignaturas de ingeniería del EEES	38
2.6	Aprendizaje basado en proyectos en asignaturas de ingeniería del EEES	40
2.7	Importancia del uso de las prácticas de laboratorio para la enseñanza de la ingeniería	42
 CAPÍTULO 3 LABORATORIOS VIRTUALES Y REMOTOS. SOFTWARE MÁS COMUNMENTE UTILIZADOS.....		47
3.1	Definición de laboratorios virtuales y remotos	47
3.2	Estudio de laboratorios virtuales y remotos afines a la Ingeniería del Control Automático	49
3.3	Niveles que conforman un Sistema de Laboratorios Virtuales y Remotos	63
3.3.1	Interfaz de usuario	63
3.3.2	Gestión de prácticas.....	68
3.3.3	Procesamiento de las prácticas.....	71
3.4	Herramientas de administración y gestión	73
 CAPÍTULO 4 MODELADO, DISEÑO Y FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE LABORATORIOS A DISTANCIA.....		81
4.1	Modelado de la aplicación: interacción con el estudiante	81
4.1.1	Diagrama de casos de uso.....	82

4.2	Casos de uso generales	83
4.3	Arquitectura general del sistema: componentes y gestión de la información	89
4.3.1	Implementación del sistema e integración con MATLAB/Simulink.....	90
4.3.2	Diseño de la base de datos.....	99

CAPÍTULO 5 PLANIFICACIÓN DE LA ASIGNATURA REGULACIÓN AUTOMÁTICA 103

5.1	Organización de la asignatura	103
5.2	Actividades presenciales desarrolladas en la asignatura	107
5.3	Preparación de problemas para la evaluación continua del alumno	108
5.4	Adquisición de competencias mediante el control de sistemas físicos reales en el laboratorio	113
5.4.1	Trabajos prácticos en el laboratorio.....	115
5.5	Metodología docente utilizada a lo largo de la asignatura	117

CAPÍTULO 6 TRABAJOS PRÁCTICOS A DISTANCIA 119

6.1	Clasificación de las prácticas remotas en el SLD	119
6.1.1	Prácticas paramétricas	120
6.1.2	Prácticas con cambio de estrategia	122
6.2	Adquisición de competencias mediante el control de sistemas físicos reales de forma remota	125
6.2.1	Prácticas remotas para el sistema térmico	126
6.2.2	Prácticas remotas para el motor de corriente continua	137
6.3	Adquisición de competencias mediante el desarrollo de un proyecto de control	139
6.3.1	Prácticas para el proyecto integrado.....	142
6.4	Uso de la plataforma Sistema de Laboratorio a Distancia (SLD)	148

CAPÍTULO 7 VALORACIÓN DE LA METODOLOGÍA DOCENTE DESARROLLADA 151

7.1	Valoración de la metodología aplicada	151
7.1.1	Recogida de los datos en el curso 2008-2009.....	152
7.1.2	Recogida de los datos en el curso 2009-2010.....	158
7.1.3	Recogida de los datos en el curso 2010-2011.....	163
7.2	Resumen de los resultados obtenidos por los alumnos en los cursos del 2008-2009 al 2010-2011	171
	CONCLUSIONES.....	175
	Trabajos futuros	177
	ANEXOS	179
Anexo 1	Análisis de tecnologías para el desarrollo de la interfaz de usuario	179
Anexo 2	Análisis de tecnologías para el desarrollo de la gestión de prácticas	180
Anexo 3	Análisis de tecnologías para el desarrollo del procesamiento de las prácticas	181
Anexo 4	Flujo de eventos para el caso de uso servicio de autenticación	182
Anexo 5	Flujo de eventos para el caso de uso servicio de prácticas	182
Anexo 6	Flujo de eventos para el caso de uso servicio de prácticas	183
Anexo 7	Flujo de eventos para el caso de uso Administrar usuarios para el actor Administrador	184
Anexo 8	Flujo de eventos para el caso de uso Administrar configuración para el actor Administrador	185
Anexo 9	Flujo de eventos para el caso de uso Administrar base de datos para el actor Administrador	186
Anexo 10	Flujo de eventos para el caso de uso Servicio de Reserva de laboratorio para el actor Administrador	186
Anexo 11	Resumen de la observación participante en las prácticas de laboratorio del curso 2008-2009	187
Anexo 12	Modelo de la encuesta aplicada en el curso 2008-2009	188

Anexo 13	Resultados de la encuesta aplicada en el curso 2008-2009	189
Anexo 14	Resumen de la observación participante en las prácticas de laboratorio del curso 2009-2010	190
Anexo 15	Modelo de la encuesta aplicada en el curso 2009-2010	191
Anexo 16	Resultados de la encuesta aplicada en el curso 2009-2010	192
Anexo 17	Resumen de la observación participante en las prácticas de laboratorio del curso 2010-2011	193
Anexo 18	Modelo de la encuesta aplicada en el curso 2010-2011	194
Anexo 19	Resultados de la encuesta aplicada en el curso 2010-2011	196
PUBLICACIONES		197
BIBLIOGRAFÍA		199

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 2.1 COMPETENCIAS PROPIAS DE LA AUTOMÁTICA Y LAS TITULACIONES DONDE SE IMPARTEN.	30
TABLA 3.1 CLASIFICACIÓN DE LOS ENTORNOS EXPERIMENTALES.	48
TABLA 3.2 CARACTERÍSTICAS DE ALGUNOS LABORATORIOS/EXPERIMENTOS REMOTOS IMPORTANTES Y EL SISTEMA SLD.	79
TABLA 4.1 PARTES E IMPLEMENTACIÓN DE LA PLATAFORMA. SOFTWARE UTILIZADO.	89
TABLA 5.1 ACTIVIDADES Y HORAS PREVISTAS DE ESTUDIO DEL ALUMNO DURANTE EL CUATRIMESTRE.	104
TABLA 5.2 ACTIVIDADES Y HORAS DE TRABAJO DE LOS PROFESORES DURANTE EL CUATRIMESTRE.	106
TABLA 5.3 TEMARIO DE LA ASIGNATURA REGULACIÓN AUTOMÁTICA. TRABAJOS PRÁCTICOS DESARROLLADOS POR CADA TEMA DE LA ASIGNATURA.	107
TABLA 6.1 TEMAS DE LA INGENIERÍA DEL CONTROL EN LOS QUE EL SISTEMA SLD PUEDE SER USADO. ALGUNOS TEMAS SON TRATADOS EN GRADO Y OTROS EN POSTGRADO.	120
TABLA 6.2 ACCESOS REGISTRADOS A LAS PRÁCTICAS REMOTAS DEL SISTEMA SLD DESDE EL CURSO 2008-2009 HASTA EL CURSO 2010-2011.	148
TABLA 7.1 PREGUNTAS E INDICADORES DE LA ENCUESTA APLICADA A LOS ALUMNOS DE REGULACIÓN AUTOMÁTICA EN EL CURSO 2008-2009.	156
TABLA 7.2 PREGUNTAS E INDICADORES DE LA ENCUESTA APLICADA A LOS ALUMNOS DE REGULACIÓN AUTOMÁTICA EN EL CURSO 2009-2010.	161
TABLA 7.3 PREGUNTAS E INDICADORES DE LA ENCUESTA APLICADA A LOS ALUMNOS DE REGULACIÓN AUTOMÁTICA EN EL CURSO 2010-2011.	166
TABLA 7.4 EVOLUCIÓN DE LAS PRÁCTICAS DE REGULACIÓN AUTOMÁTICA DESDE EL CURSO 2008-2009 HASTA EL 2010-2011.	169
TABLA 7.5 NOTAS OBTENIDAS POR LOS ALUMNOS EN REGULACIÓN AUTOMÁTICA EN LOS CURSOS 2008-2009 AL 2010-2011.	171

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 3.1 ARQUITECTURA DEL SISTEMA ACT [38]. LABORATORIO QUE PERMITE REALIZAR EXPERIMENTOS REMOTOS SOBRE DIFERENTES PLANTAS.	53
FIGURA 3.2 ARQUITECTURA DE REFERENCIA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LABORATORIOS REMOTOS PRESENTADA POR CALVO ET AL. [31].	54
FIGURA 3.3 ARQUITECTURA DEL SISTEMA LABNET [3]. EL LABORATORIO REMOTO PERMITE LA REALIZACIÓN DE EXPERIMENTOS SOBRE LAS MAQUETAS DE LABORATORIO A TRAVÉS DE INTERNET.	54
FIGURA 3.4 CLIENTE LABNET [3] QUE PERMITE EL ACCESO REMOTO AL LABORATORIO A TRAVÉS DE SU INTERFAZ GRÁFICA.	55
FIGURA 3.5 INTERFACE DE USUARIO DE RECOLAB [156] QUE PERMITE EL CONTROL A DISTANCIA Y EN TIEMPO REAL DE UN SISTEMA FÍSICO A TRAVÉS DE INTERNET.	56
FIGURA 3.6 ARQUITECTURA DE RECOLAB [156]. SE DESTACAN LOS BLOQUES QUE CONFORMAN ESTA ARQUITECTURA Y SU INTERRELACIÓN.	56
FIGURA 3.7 INTERFACE DEL LABORATORIO VIRTUAL SOBRE UNA MÁQUINA DE FUNDICIÓN CONTINUA [206].	57
FIGURA 3.8 ARQUITECTURA DEL NCSLAB [210]. UTILIZA UNA ARQUITECTURA ESCALABLE.	58
FIGURA 3.9 ARQUITECTURA DEL LABORATORIO REMOTO IMPLEMENTADO EN LA UNIVERSIDAD DE MARIBOR [166]. UTILIZA PARA EL CONTROL MATLAB Y LABVIEW.	59
FIGURA 3.10 ARQUITECTURA DEL SISTEMA ROBOLAB (ROBUALAB) [34] QUE PERMITE LA SIMULACIÓN DE UN BRAZO ROBOT.	60
FIGURA 3.11 INTERFACE DEL SISTEMA ROBUALAB.EJS [106], ÚLTIMA VERSIÓN DEL SISTEMA INCLUIDA EN EL PROYECTO AUTOMATL@BS .	61
FIGURA 3.12 ARQUITECTURA DE SOFTWARE DE LA PLATAFORMA DESARROLLADA PARA INTERACTUAR CON EL LABORATORIO REMOTO DE ROBOTS MÓVILES [149].	62
FIGURA 3.13 ARQUITECTURA DEL LABORATORIO DE AUTOMATIZACIÓN REMOTO (RAL) [83] PERMITE EL ACCESO REMOTO A PLC DE DIFERENTES FABRICANTES.	63
FIGURA 3.14 ESQUEMA GENERAL DE UN SISTEMA QUE UTILIZA MATLAB WEB SERVER PARA LA COMUNICACIÓN ENTRE LAS APLICACIONES WEB Y MATLAB.	69
FIGURA 3.15 FORMULARIO DE REGISTRO EN LÍNEA DE USUARIOS DEL LABORATORIO REMOTO DE AUTOMÁTICA [53].	74
FIGURA 3.16 ÁREA DE VALIDACIÓN DE USUARIOS DEL SISTEMA JAVALAB [203]. PARA PODER EJECUTAR LOS LABORATORIOS EN TIEMPO REAL EL USUARIO DEBE ESTAR VALIDADO.	75

FIGURA 3.17 FORMULARIO DE ACCESO AL SISTEMA AUTOMATL@BS [201]. SOLO PERMITE EL ACCESO A LOS USUARIOS PREVIAMENTE INTRODUCIDOS EN EL SISTEMA.	75
FIGURA 3.18 VENTANA DE GESTIÓN DE HORARIOS DEL SISTEMA JAVALAB [203]. LOS USUARIOS, ESTUDIANTES Y GRUPOS DEL SISTEMA PUEDEN RESERVAR HORARIOS DE LABORATORIO.	76
FIGURA 3.19 CUADRO DE DIALOGO DE RESERVA DE HORARIO DE LABORATORIO JAVALAB [203]. EL ADMINISTRADOR PUEDE AÑADIR, MODIFICAR O BORRAR RESERVAS DE OTROS USUARIOS.	77
FIGURA 3.20 SERVIDOR DE RESERVA DEL SISTEMA EMERSION [201]. LOS ESTUDIANTES PUEDEN ELEGIR UNA FECHA Y HORA ESPECÍFICA DE TRABAJO.	77
FIGURA 3.21 HERRAMIENTA DE GESTIÓN DE GRUPOS DEL LABORATORIO DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CATALUNYA [162].	78
FIGURA 4.1 DIAGRAMA GENERAL CASOS DE USOS DEL SISTEMA. RELACIÓN ENTRE LOS ACTORES DEL SISTEMA: ESTUDIANTE, ADMINISTRADOR Y USUARIO ANÓNIMO.	82
FIGURA 4.2 CASO DE USO SERVICIO DE AUTENTIFICACIÓN BRINDADO POR EL SISTEMA AL USUARIO ANÓNIMO.	83
FIGURA 4.3 FORMULARIO DE AUTENTIFICACIÓN EN EL SISTEMA. LOS DATOS INTRODUCIDOS SON VALIDADOS POR EL SISTEMA.	84
FIGURA 4.4 CASO DE USO SERVICIO DE PRÁCTICAS QUE POSIBILITA LA REALIZACIÓN DE LAS PRÁCTICAS.	84
FIGURA 4.5 CASO DE USO DIRECTORIO DE PRÁCTICAS QUE PERMITE CREAR UN DIRECTORIO PARA GUARDAR LOS RESULTADOS DE LAS PRÁCTICAS REALIZADAS.	85
FIGURA 4.6 CASO DE USO ADMINISTRAR USUARIOS QUE PERMITE AL ADMINISTRADOR CREAR, EDITAR O ELIMINAR USUARIOS.	87
FIGURA 4.7 CASO DE USO ADMINISTRAR CONFIGURACIÓN QUE PERMITE AL ADMINISTRADOR EDITAR LOS PARÁMETROS DE ACCESO A SERVIDORES EXTERNOS.	88
FIGURA 4.8 CASO DE USO ADMINISTRAR BASE DE DATOS QUE POSIBILITA AL ADMINISTRADOR MANTENER CORRECTAMENTE ACTUALIZADA LA BASE DE DATOS DEL SISTEMA.	88
FIGURA 4.9 ARQUITECTURA DEL SISTEMA SLD. INTERRELACIÓN DE LAS PARTES QUE LO CONFORMAN.	90
FIGURA 4.10 VISTA GENERAL DE LA INFRAESTRUCTURA DEL SLD. BLOQUES QUE LO CONFORMAN Y PERMITEN LA RESPUESTA DEL SISTEMA.	92
FIGURA 4.11 ARQUITECTURA DE TRES CAPAS IMPLEMENTADA EN EL SISTEMA SLD QUE PERMITE LA COMUNICACIÓN CON LA BASE DE DATOS.	94
FIGURA 4.12 ESQUEMA DE LA INTERFAZ DE USUARIOS DEL SLD. PRINCIPALES ZONAS QUE LA INTEGRAN.	95
FIGURA 4.13 ARQUITECTURA DE VIDEO STREAMING. PARA EL PROTOCOLO HTTP SE USA EL PUERTO 8080. PARA EL PROTOCOLO MMS SE USA EL PUERTO 1234.	97

FIGURA 4.14 MODELO LÓGICO DE LA BASE DE DATOS. LA TABLA SLD_PRACTICES, CONTIENE LOS DATOS DE TODAS PRÁCTICAS REALIZADAS POR LOS ESTUDIANTES.	100
FIGURA 5.1 ACTIVIDADES Y HORAS DE ESTUDIO DEDICADAS POR LOS ALUMNOS. SE DISTINGUEN LAS ACTIVIDADES PRESENCIALES Y A DISTANCIA.	105
FIGURA 5.2 TABLA DE EJERCICIOS DE AUTOEVALUACIÓN PLANIFICADOS QUE PERMITE VER LAS ENTREGAS Y LA NOTA MEDIA OBTENIDA POR LOS ALUMNOS.	109
FIGURA 5.3 TABLA DE RESULTADO DE LOS EJERCICIOS DE AUTOEVALUACIÓN REALIZADOS POR UN ALUMNO. PERMITE VER EN QUÉ TEMAS EL ESTUDIANTE TIENE DIFICULTADES.	110
FIGURA 5.4 RESULTADOS DE LOS EJERCICIOS DE AUTOEVALUACIÓN DE UN GRUPO EN EL CURSO. MUESTRA ESTADÍSTICAS MUY ÚTILES PARA EL PROFESOR.	110
FIGURA 5.5 EJEMPLO DE CUESTIÓN DE TEORÍA. ES UNA PREGUNTA DE SELECCIÓN SIMPLE QUE COMPRUEBA LOS CONOCIMIENTOS TEÓRICOS.	111
FIGURA 5.6 EJEMPLO DE CUESTIÓN QUE REQUIERE CÁLCULOS MATEMÁTICOS. EL ALUMNO ELIGE UNA OPCIÓN SEGÚN LOS CÁLCULOS REALIZADOS.	112
FIGURA 5.7 EJEMPLO DE CUESTIÓN QUE REQUIERE USO DE HERRAMIENTAS INFORMÁTICAS COMO EL MATLAB. SE REALIZA MEDIANTE SELECCIÓN SIMPLE.	112
FIGURA 5.8 EQUIPOS UTILIZADOS POR LOS ESTUDIANTES EN EL LABORATORIO. MOTOR DE CORRIENTE CONTINUA (IZQUIERDA) Y SISTEMA TÉRMICO (DERECHA).	113
FIGURA 6.1 ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DE LAS PRÁCTICAS PARAMÉTRICAS. SE MUESTRA EL FLUJO DE INFORMACIÓN HASTA OBTENER LA PÁGINA WEB DE RESULTADOS.	121
FIGURA 6.2 PÁGINA WEB DE INICIO DE UNA PRÁCTICA PARAMÉTRICA DESTACANDO LAS PARTES QUE LA CONFORMAN.	122
FIGURA 6.3 ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DE LAS PRÁCTICAS CON CAMBIO DE ESTRATEGIA. SE MUESTRA EL FLUJO DE INFORMACIÓN.	123
FIGURA 6.4 PÁGINA WEB DE INICIO DE UNA PRÁCTICA CON CAMBIO DE ESTRATEGIA DESTACANDO LAS PARTES QUE LA CONFORMAN.	124
FIGURA 6.5 PÁGINA WEB DE LA PRÁCTICA REMOTA CONTROL DE UN SISTEMA TÉRMICO CON REGULADOR PID PERMITE REALIZAR DIFERENTES ENSAYOS CON UN REGULADOR PID.	127
FIGURA 6.6 RESPUESTA DEL SISTEMA TÉRMICO.	128
FIGURA 6.7 PÁGINA WEB DE LA PRÁCTICA REMOTA CONTROL DE UN SISTEMA TÉRMICO CON CAMBIO DE REGULADOR.	129
FIGURA 6.8 MODELO DE SIMULINK DESCARGADO DE LA PRÁCTICA REMOTA CONTROL DE UN SISTEMA TÉRMICO CON CAMBIO DE REGULADOR.	130
FIGURA 6.9 PÁGINA WEB DE LA PRÁCTICA REMOTA IDENTIFICACIÓN DEL SISTEMA TÉRMICO. PERMITE MODIFICAR EL ESQUEMA DE IDENTIFICACIÓN Y ENSAYAR CON DIFERENTES SEÑALES EN LA REFERENCIA.	131

FIGURA 6.10 MODELO DE SIMULINK DESCARGADO DE LA PRÁCTICA REMOTA IDENTIFICACIÓN DEL SISTEMA TÉRMICO.	132
FIGURA 6.11 PÁGINA WEB DE LA PRÁCTICA REMOTA ENSAYO CON UN SISTEMA TÉRMICO. PERMITE ENSAYAR SIN PERTURBACIÓN, CON PERTURBACIÓN VENTANA Y CON PERTURBACIÓN TEMPERATURA EXTERIOR.	133
FIGURA 6.12 PÁGINA WEB DE LA PRÁCTICA REMOTA CONTROL DE UN SISTEMA TÉRMICO CON REGULADOR PID Y PERTURBACIÓN. PERMITE REALIZAR DIFERENTES ENSAYOS CON UN REGULADOR PID Y EVALUAR LOS EFECTOS QUE TIENEN LAS PERTURBACIONES.	135
FIGURA 6.13 PÁGINA WEB DE LA PRÁCTICA REMOTA CONTROL DE UN SISTEMA TÉRMICO CON PERTURBACIÓN Y REGULADOR ANTICIPATIVO.	136
FIGURA 6.14 PÁGINA WEB DE LA PRÁCTICA REMOTA IDENTIFICACIÓN DEL MOTOR DE CORRIENTE CONTINUA.	137
FIGURA 6.15 PÁGINA WEB DE LA PRÁCTICA REMOTA CONTROL DE POSICIÓN DE MOTOR DE CORRIENTE CONTINUA CON REGULADOR PID.	138
FIGURA 6.16 TRABAJOS PROGRAMADOS EN EL SEMESTRE. PERMITE AL PROFESOR ACCEDER A LOS TRABAJOS DE CADA ESTUDIANTE.	140
FIGURA 6.17 ESQUEMA DEL SISTEMA A IDENTIFICAR EN EL PROYECTO INTEGRADO. EL ALUMNO TIENE QUE IDENTIFICAR LAS FUNCIONES DE TRANSFERENCIA.	141
FIGURA 6.18 GRÁFICAS DE RESPUESTA DEL SISTEMA DE ACUERDO AL NÚMERO DE MATRÍCULA. PERMITE QUE LOS ALUMNOS OBTENGAN LAS GRÁFICAS Y VECTORES DE DATOS.	143
FIGURA 6.19 PÁGINA WEB DE LA PRÁCTICA DEL PROYECTO INTEGRADO DISEÑO DE REGULADORES. PERMITE QUE EL ALUMNO DISEÑE UN REGULADOR PARA EL SISTEMA IDENTIFICADO EN LA PARTE ANTERIOR.	144
FIGURA 6.20 PÁGINA WEB DE LA PRÁCTICA DEL PROYECTO INTEGRADO CONTROL ANTICIPATIVO. LOS ALUMNOS COMPROBARÁN EL EFECTO DEL CONTROL ANTICIPATIVO EN LA PERTURBACIÓN.	145
FIGURA 6.21 MODELO DE SIMULINK DESCARGADO DE LA PRÁCTICA DEL PROYECTO INTEGRADO CONTROL ANTICIPATIVO.	146
FIGURA 6.22 PÁGINA WEB DE LA PRÁCTICA DEL PROYECTO INTEGRADO CONTROL EN CASCADA. PERMITE EL DISEÑO DE LOS REGULADORES EN CASCADA.	147
FIGURA 6.23 MODELO DE SIMULINK DESCARGADO DE LA PRÁCTICA DEL PROYECTO INTEGRADO CONTROL EN CASCADA.	147
FIGURA 6.24 REGISTRO DE PRÁCTICAS EN CADA UNA DE LAS ESTACIONES Y EN EL SERVIDOR. EL EJE DEL NÚMERO DE ACCESO ESTÁ EN ESCALA LOGARÍTMICA.	150
FIGURA 7.1 RESULTADOS OBTENIDOS EN LA OBSERVACIÓN PARTICIPANTE DE LAS PRÁCTICAS DE LABORATORIO CON SISTEMAS FÍSICOS DEL CURSO 2008-2009.	153

FIGURA 7.2 RESULTADOS OBTENIDOS EN LA OBSERVACIÓN PARTICIPANTE DE LAS PRÁCTICAS DE LABORATORIO CON SISTEMAS FÍSICOS DEL CURSO 2009-2010.	159
FIGURA 7.3 RESULTADOS OBTENIDOS EN LA OBSERVACIÓN PARTICIPANTE DE LAS PRÁCTICAS DE LABORATORIO CON SISTEMAS FÍSICOS DEL CURSO 2010-2011.	165
FIGURA 7.4 RESULTADOS DE LA ENCUESTA APLICADA A LOS ESTUDIANTES EN LOS CURSOS ACADÉMICOS 2009/2010 Y 2010/2011.	170
FIGURA 7.5 APOORTE DE LAS ACTIVIDADES DEL SEMESTRE A LA NOTA FINAL DE LA ASIGNATURA EN EL CURSO 2008-2009.	172
FIGURA 7.6 APOORTE DE LAS ACTIVIDADES DEL SEMESTRE A LA NOTA FINAL DE LA ASIGNATURA EN EL CURSO 2009-2010.	172
FIGURA 7.7 APOORTE DE LAS ACTIVIDADES DEL SEMESTRE A LA NOTA FINAL DE LA ASIGNATURA EN EL CURSO 2010-2011.	173

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN

Las universidades y otras instituciones de educación superior de todo el mundo se están enfrentando al reto de servir a una población cada vez mayor de alumnos, más diversificada social y culturalmente.

La educación actual es cada vez más activa y participativa, recibiendo un menor número de lecciones tradicionales. La pedagogía del futuro debe propiciar el desarrollo de capacidades y destrezas creativas, la selección adecuada de la información y la habilidad para formular preguntas más pertinentes y encontrar respuestas más apropiadas.

Por ello la labor educativa de las universidades es objeto de profundos cambios en lo que se refiere a la función tradicional de transmisión del conocimiento.

En la sociedad actual en que nos encontramos inmersos, la educación a distancia se presenta como la solución idónea para un conjunto de colectivos (alumnos, docentes, investigadores, etc.) que exigen disponer de sistemas de enseñanza mucho más flexibles, accesibles y adaptables (sin limitaciones espaciales ni temporales) [59]. Resulta incuestionable que las tecnologías de la información se presentan como las formas alternativas de mejorar la interacción profesor-alumno. Dentro de todo el conjunto de tecnologías, destacan dos herramientas que ofrecen un nuevo enfoque en el modelo educativo de la educación a distancia: los sistemas hipermedia como forma de estructurar la información, y las redes de comunicación de área extendida como soporte de la información, es decir, la red Internet.

Una de las modalidades más utilizadas de la educación a distancia es la de los laboratorios virtuales y remotos a través de Internet. Los laboratorios virtuales usando Internet son cada vez más populares dentro de la comunidad universitaria. El rápido avance de la tecnología de la información y las telecomunicaciones permite hoy en día llevar a la práctica muchas ideas que hace algún tiempo eran imposibles de realizar. Algunas experiencias realizadas dan muestras de que ésta es la manera de trabajar en el siglo XXI.

Por otra parte, los laboratorios remotos o a distancia permiten acceder a sistemas físicos costosos desde cualquier lugar. Esto permite al alumno

desarrollar actividades sin necesidad de acudir al laboratorio donde se encuentra el sistema y en el horario que desee, contribuyendo a una mejor utilización de estos recursos. Este tipo de educación se vuelve muy atractiva en el área del control automático.

El Departamento de Automática y Sistemas Computacionales de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, en cooperación con el Departamento de Automática, Ingeniería Electrónica e Informática Industrial de la Universidad Politécnica de Madrid, desarrollaron el Sistema de Laboratorios a Distancia (SLD) que permite el ensayo de algoritmos de control de forma remota vía Internet. Está basado en MATLAB/Simulink y permite la realización de prácticas tanto simuladas como reales en un entorno web sin necesidad de descargar software adicional. Se pueden ejecutar prácticas paramétricas (con controlador predefinido) o con cambio de estrategia (con controlador definido por el usuario) [177, 180]. Las prácticas desarrolladas han sido utilizadas en asignaturas de grado y postgrado de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, como Sistemas de Control II, Modelado y Simulación y Teoría Avanzada de Control. También se ha accedido al sistema desde otros países como México, Colombia, Brasil y España con buenos resultados en la respuesta [100].

El Departamento de Automática, Ingeniería Electrónica e Informática Industrial de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM) llevó a cabo un proyecto de innovación educativa dentro del marco de actividades de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales (ETSII) para la adaptación de la docencia de las asignaturas al Espacio Europeo de Educación Superior (EEES) en las enseñanzas técnicas. Como parte de este proyecto, la asignatura Regulación Automática ha sido adaptada a la metodología de créditos ECTS ¹ (Sistema Europeo de Transferencia y Acumulación de Créditos) [73].

Los contenidos de Regulación Automática se han ajustado para cubrir aspectos importantes de la asignatura suponiendo una carga de actividades y de dedicación del estudiante a la misma [73]. La asignatura está programada para un total de 144 horas de trabajo del alumno, lo que equivale a 4,8 créditos ECTS. Las horas dedicadas por el alumno a los trabajos prácticos son el objetivo de mayor incidencia del Sistema de Laboratorios a Distancia (SLD), ya

¹ El Sistema Europeo de Transferencia y Acumulación de Créditos (European Credit Transfer and Accumulation System, ECTS) es un sistema utilizado por las universidades europeas para convalidar asignaturas y cuantificar el trabajo relativo al

que le permite poder realizar actividades prácticas que refuercen los contenidos impartidos en horarios flexibles.

La realización de los trabajos prácticos en las asignaturas de Regulación Automática es un aspecto fundamental para la docencia, ya que los conceptos explicados en el aula tienen un reflejo inmediato en la implementación de sistemas de control. Existen varios aspectos que deben ser considerados para la realización de las prácticas de estas asignaturas. El primero es relativo al tipo de prácticas a realizar, es decir, si el alumno las realizará directamente sobre los equipos físicos del laboratorio, que es lo que tradicionalmente se está haciendo; o si, por el contrario, el alumno hace las prácticas a distancia con estos equipos accediendo de forma remota.

La propuesta que se defiende es que los alumnos combinen la realización de prácticas presenciales y a distancia. Esto les permite conocer el funcionamiento de equipos reales durante las sesiones presenciales y analizar diferentes esquemas de control en las sesiones a distancia.

La evaluación continua del alumno incorpora una colección de ejercicios que se les plantean periódicamente para que los realicen en casa. Se incluyen además varios test de autoevaluación que se realizan a través de AulaWeb. AulaWeb es una herramienta de tele-enseñanza desarrollada por la División de Informática Industrial de la Universidad Politécnica de Madrid [76]. Los ejercicios realizados en casa son una actividad tradicionalmente propuesta en estas asignaturas mientras que los test de autoevaluación son una actividad nueva de gran utilidad para asignaturas con un gran número de alumnos.

Otra actividad de gran interés para los estudiantes es la realización de un proyecto de un sistema de control. Este tipo de actividad les permite afianzar los diferentes conceptos estudiados en la asignatura. Además posibilita evaluar el grado de aproximación que necesitan alcanzar para diseñar un buen regulador. Los alumnos suelen tener dificultades para seleccionar el grado de precisión que se requiere en la obtención del modelo del sistema. Es por ello que durante la realización del proyecto aprenden a buscar un equilibrio entre la complejidad de un modelo y el grado de precisión que se requiere, esto tiene un gran valor formativo para los especialistas en control.

Por todo lo planteado anteriormente **la principal aportación de esta tesis lo constituye la planificación de una asignatura de Regulación Automática**

sobre la base de la metodología ECTS en la que se incluye la realización de trabajos prácticos presenciales y a distancia. Otra aportación de esta tesis es el estudio detallado de la carga de trabajo que supone la implantación de los ECTS desde el punto de vista del alumno y el profesor. Constituyen igualmente una aportación práctica las herramientas docentes desarrolladas que permitieron la realización de las actividades presenciales y a distancia. Por último, la valoración por parte de los estudiantes de esas técnicas utilizadas mediante datos cualitativos y cuantitativos es también una aportación de esta tesis.

La presente tesis tiene por finalidad mejorar las metodologías de enseñanza-aprendizaje orientadas al trabajo del alumno en las asignaturas de Regulación Automática. Los objetivos planteados son los siguientes:

- Aumentar el número de trabajos prácticos que realiza el alumno durante el curso y que permitan elevar las competencias adquiridas.
- Potenciar la evaluación continua del alumno.
- Evaluar la aplicación de herramientas educativas en la docencia del Control Automático.

1.1 Organización de la tesis

Esta tesis está organizada en siete capítulos. Este primero hace una introducción al trabajo dejando claro la motivación y los objetivos planteados.

En el segundo capítulo se realiza un detallado estudio de la enseñanza de la Ingeniería Automática en varias regiones de interés como Estados Unidos, Latinoamérica y Europa. Se detallan las competencias del Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática. Este capítulo se centra también en la importancia del uso de los laboratorios en la enseñanza de la ingeniería.

El capítulo 3 define los conceptos de laboratorio virtual y remoto y se realiza un amplio estudio de varios de los sistemas actuales. Así mismo, se definen los niveles que conforman un Sistema de Laboratorios Virtuales y Remotos.

En el capítulo 4 se muestra el Sistema de Laboratorios a Distancia (SLD). El modelado del sistema, la arquitectura y el funcionamiento del SLD son algunos de los puntos analizados en el capítulo.

La metodología docente propuesta en esta investigación se expone en el capítulo 5. Se analiza la organización de la asignatura objeto de estudio:

Regulación Automática. En este capítulo se describen las actividades presenciales desarrolladas por los alumnos. También se define la carga de trabajo tanto para el alumno como para el profesor.

El capítulo 6 describe el diseño de las diferentes actividades remotas desarrolladas. Se definen los tipos de prácticas que implementa el sistema SLD. Además se muestra el uso del sistema a lo largo de los tres cursos consecutivos en los que ha sido usado (2008/2009, 2009/2010, 2010/2011).

Los resultados obtenidos en los cursos 2008-2009 al 2010-2011 se detallan en el capítulo 7. Se muestran los resultados de las diferentes técnicas usadas en la recogida de datos como la observación participante, los cuestionarios y las entrevistas.

Por último se exponen las conclusiones y los anexos que permiten comprender mejor el ámbito de esta tesis. Se destacan además las aportaciones y los trabajos futuros, así como las publicaciones y participación en eventos durante el desarrollo de la investigación.

CAPÍTULO 2 EDUCACIÓN EN AUTOMÁTICA

La enseñanza de la Ingeniería en Automática varía de una región a otra y de una universidad a otra. En muchas universidades, los cursos de la ingeniería de control se imparten en la ingeniería eléctrica y electrónica, la ingeniería mecánica y mecatrónica, la ingeniería industrial, ingeniería aeroespacial, etc. En otras está vinculada con la informática, debido a que la mayoría de las técnicas de control se ejecutan hoy a través de los ordenadores, a menudo como sistemas empotrados (como en el campo de la automoción). El control en el ámbito de la ingeniería química se conoce como control de procesos y se ocupa sobre todo del control de variables de un proceso químico como planta a controlar. El control de procesos forma parte del currículo de cualquier programa de ingeniería química, empleando los principios de la ingeniería de control. Otras disciplinas de la ingeniería también se solapan con la ingeniería de control, la que puede ser aplicada a cualquier sistema para el cual se ha realizado un modelo correcto.

Los estudiantes de la ingeniería de control suelen comenzar con un curso de sistemas de control lineal analizados en el tiempo y en el dominio complejo s . Este curso, también llamado teoría de control clásica, requiere conocimientos de matemática elemental, ecuaciones diferenciales y de la transformada de Laplace. En el control lineal, el alumno hace análisis en el dominio de la frecuencia y del tiempo. Los cursos de control digital y de control no lineal requieren del conocimiento de la transformada z y de álgebra, y complementan la educación del control básico.

2.1 Educación en Automática. Muestra de estudios propios o afines en distintas regiones

2.1.1 Características y estructura de los estudios en Estados Unidos

El sistema de enseñanza superior en los Estados Unidos está constituido por dos niveles: grado, y estudios de postgrado. El grado comprende fundamentalmente el título de Licenciado, mientras que los títulos de Máster y Doctor pertenecen al postgrado.

En el caso de la ingeniería, el título más demandado en el nivel de grado es el Licenciatura en Ingeniería o títulos equivalentes pero con distinta denominación (Licenciado en Ciencias, Licenciado en Ciencias e Ingeniería, etc.) Estos programas tienen una duración de cuatro años: primer año o *freshman year*, segundo año o *sophomore year*, tercero o *junior year* y cuarto o *senior year*. Estas titulaciones son muy flexibles y con facilidades de configuración del plan de estudios por el alumno. Las asignaturas de los dos primeros años se denominan comúnmente *lower division courses* o cursos inferiores, mientras que las de los dos últimos se conocen por *upper division courses* o cursos superiores.

En el nivel de postgrado, los títulos de Máster se caracterizan por una mayor profundidad en el contenido de sus asignaturas y mayor grado de especialización e intensidad en la formación. Igualmente exigen una capacidad superior de autoaprendizaje y estudio por parte del alumno. El título de Doctor se obtiene tras completar estudios de una duración de entre 5 y 8 años. Se centran en la adquisición por parte del estudiante de las habilidades necesarias para trabajar en la investigación. Incluyen cursos avanzados, seminarios y la elaboración y defensa de una tesis original de investigación dirigida por un doctor.

Los Estados Unidos no tienen un Ministerio de Educación central, por lo que cada institución de educación superior se encarga de su propio currículo académico. Sin embargo, existen entidades de acreditación privadas que funcionan a nivel estatal o regional. Tal es el caso del Consejo de Acreditación de Ingeniería y Tecnología (*Accreditation Board for Engineering and Technology*, ABET) [2].

Los profesores Dorato y Abdallah realizan un estudio de los programas de grado de ingeniería en catorce países para determinar el estado de la enseñanza de la ingeniería fuera de los Estados Unidos. Los elementos estudiados incluyen el número de años necesario para obtener un grado en ingeniería, las titulaciones de ingeniería, la preparación en las escuelas preuniversitarias para los programas de ingeniería, el costo de la educación, las tasas de terminación para los grados de ingeniería, los requisitos de ingreso, el nivel de matemáticas y el equipamiento necesario para el trabajo en el laboratorio [54].

Las diferencias principales entre la enseñanza del control en los Estados Unidos y la mayoría de otros países son que la especialización en sistemas de control ocurre principalmente en el nivel de postgrado y las universidades no suelen contar con departamentos de ingeniería de control.

La educación de la ingeniería de control en los Estados Unidos se estructura de manera distinta a la mayoría de los otros países. Existen solo tres programas acreditados de ingeniería de control en los Estados Unidos, y se encuentran en la Universidad de California en San Diego, la Universidad *Case Western Reserve* y la Universidad de *West Florida*. El único estudio de grado que cuenta en su título con la palabra “control” es “Sistemas y Control” de la Universidad *Case Western Reserve*. En el grado, la ingeniería de control se incluye generalmente en los programas de la ingeniería eléctrica, la ingeniería química, la ingeniería industrial, la ingeniería aeronáutica, etc. Normalmente entre dos o tres cursos de control se ofrecen en estas especializaciones.

Los temas introductorios de control en los cursos de grado en los EE.UU., generalmente se limitan a las técnicas de diseño de ensayo y error. Estos cursos están basados en gran medida en el criterio de estabilidad de Nyquist y el análisis del lugar de raíces, centrándose muy poco en el diseño analítico, principalmente por el elevado nivel de las matemáticas necesario para entender gran parte de esta teoría [55].

En los cursos de postgrado se estudia la ingeniería de control de una forma más intensiva, aunque las titulaciones son de forma general en los campos estándar de la ingeniería, por ejemplo, Ph.D. en Ingeniería Eléctrica a diferencia de Ph.D. en Ingeniería de Control.

2.1.2 Características y estructura de los estudios en países de América Latina y el Caribe

La mayoría de los países latinoamericanos comenzaron los estudios de ingeniería a principios del siglo XX basándose en el modelo de las Grandes Écoles francesas. En la década de los sesenta se da un giro hacia el modelo anglosajón, pasando a fundamentar la docencia en la investigación y enfocando la formación en ingeniería hacia la demanda de desarrollo tecnológico e industrial de cada país [7].

En los últimos años la enseñanza de la ingeniería en Latinoamérica se encuentra en un proceso de reestructuración, principalmente en lo relativo a los estudios de grado. Se ha acortado la duración de los estudios para la obtención del primer título de ingeniería con el objetivo principalmente de favorecer las perspectivas de empleo de los graduados. Muchas titulaciones de grado con duraciones oficiales de entre 5 y 6 años están siendo reestructuradas hacia titulaciones de 4 años. La tendencia es a implantar estructuras del tipo Licenciatura (4 años) / Máster (1 año). Además, se pretende continuar y aumentar la internacionalización de los estudios y lograr un incremento de la movilidad estudiantil principalmente hacia Europa. Con este objetivo se trabaja en el establecimiento de dobles titulaciones y titulaciones conjuntas con universidades europeas. Un ejemplo de esto lo constituye el acuerdo de doble titulación que tiene la Pontificia Universidad Católica de Perú con la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de la Universidad Politécnica de Madrid.

Existe una amplia variedad de estructuras y planes de estudio de ingeniería en Latinoamérica constituyendo la mayor del mundo. En este sentido la enseñanza del control no se queda exenta. Debido a esto es muy complejo presentar un programa de estudios característico. A continuación se comentará como se realizan los estudios de ingeniería en control en algunos países representativos a modo de ilustrar las tendencias actuales.

Estudios de ingeniería afines en México

En México las Instituciones de Educación Superior ofrecen estudios posteriores a la educación media superior, y tienen por objeto la formación en los niveles de técnico superior universitario o profesional asociado, licenciatura, especialidad, maestrías y doctorados [146].

Las asignaturas de control en México se suelen estudiar en las carreras de Ingeniería en Mecatrónica, Mecánica y Eléctrica, y Electrónica. Se encuentran en esta línea universidades tan prestigiosas como la Universidad Nacional Autónoma de México, la Universidad TecMilenio, perteneciente al Sistema Tecnológico de Monterrey y la Universidad Autónoma Metropolitana.

Otras universidades tienen carreras más afines con la enseñanza del control. El Instituto Politécnico Nacional en la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica oferta las carreras de Ingeniería en Robótica Industrial e Ingeniería en Control y Automatización. La Universidad Autónoma de Querétaro establece la Ingeniería en Automatización mediante cuatro líneas de especialidad: Instrumentación y Control de Procesos, Electrónica, Mecatrónica y Sistemas Industriales.

Por su parte, algunas universidades han comenzado a introducir en el postgrado la especialidad en Control Automático e Instrumentación debido a la importancia que tiene para el desarrollo tecnológico, como es el caso de la Universidad Nacional Autónoma de México la cual ha aprobado recientemente esta especialidad en la modalidad de educación a distancia.

Estudios de ingeniería afines en Chile

En Chile existen dos variantes de Ingeniería, el Ingeniero de Ejecución y el Ingeniero Civil. Este modelo responde a un esquema de 4+1. El Ingeniero de Ejecución recibe una formación de cuatro años siendo, por lo general, los primeros cinco semestres comunes a los del Ingeniero Civil y comprendiendo las materias fundamentales de la ingeniería. Tras el quinto semestre los alumnos optan por la obtención de uno u otro título. Los dos últimos semestres comprenden asignaturas de especialidad. Los titulados pueden acceder directamente al quinto curso de Ingeniero Civil para obtener este segundo título. Existe una tendencia a incorporar en los planes de estudio de las titulaciones de grado algunos semestres de prácticas obligatorias en empresas, esto hace que algunos programas de estudios pasen de 8 a 9 y de 10 a 12 semestres [87].

Las asignaturas de control se encuentran principalmente en las especialidades de la Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Mecánica, tanto del Ingeniero Civil como del Ingeniero de Ejecución. La Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, la Universidad de Concepción, la Universidad de La Frontera y la

Pontificia Universidad Católica de Chile, son algunas en las que se estudian estas ingenierías.

La Universidad de Tarapacá oferta la Ingeniería Civil Eléctrica especialidad en Control Automático y Robótica. La Universidad Técnica Federico Santa María presenta el Ingeniero de Ejecución Electrónico cuya carrera tiene una duración de cuatro años y la especialización se centra sólo en una de las siguientes áreas de la especialidad: Computadores, Control Automático, Electrónica Industrial o Telecomunicaciones.

Por su parte la Universidad de Santiago de Chile presenta un programa de Doctorado en Automática. Este programa titulado Doctorado en Ciencias de la Ingeniería con Mención Automática, tiene como objetivo fomentar el desarrollo de la investigación científica y tecnológica en las áreas de las ciencias y la ingeniería orientadas hacia la automatización de procesos y sistemas.

Estudios de ingeniería afines en Argentina

La educación superior en Argentina es impartida por las universidades, los institutos universitarios y los institutos superiores no universitarios. Estas instituciones son las legalmente autorizadas por el Ministerio de Educación de la Nación para otorgar títulos oficiales. Los institutos universitarios ofrecen carreras de un sólo campo de conocimiento (por ejemplo, carreras empresariales). Las universidades están formadas por distintos departamentos, generalmente llamados facultades, cubriendo distintas ramas de la formación superior [134, 154].

Desde hace más de 20 años, el Consejo Federal de Decanos de Ingeniería (CONFEDI) comenzó a trabajar en el Proyecto de “Modernización de la Enseñanza de las Ingenierías” en colaboración con el Instituto de Cooperación Iberoamericana (ICI) de la Agencia Española de Cooperación Internacional. Este trabajo se plasmó en 1996 con la publicación titulada “Unificación Curricular en la Enseñanza de las Ingenierías en la República Argentina” y conocido como “Libro Azul”. Esta publicación sirvió de base a un trabajo publicado en el año 2000, denominado “Propuesta de Acreditación de Carreras de Grado de Ingeniería en la República Argentina” y conocido como el “Libro Verde”. Sobre la base de estas experiencias y atendiendo a la necesidad de actualización del modelo de enseñanza, se trazó un plan de trabajo para llevar adelante el “Proyecto Estratégico de Reforma Curricular de las Ingenierías”.

Esta reforma fue implementada por las Unidades Académicas de carreras de ingeniería en su oferta académica de los años 2008 y 2009, y comenzó a aplicarse a partir del año 2010.

Al igual que en los otros países latinoamericanos analizados, las asignaturas afines con la ingeniería del control son impartidas en las carreras de Ingeniero Aeronáutico, Ingeniero Electricista, Ingeniero Electrónico e Ingeniero Mecánico que son las titulaciones reguladas por el Estado. No obstante, la Universidad Nacional de Quilmes oferta la carrera de Ingeniería en Automatización y Control Industrial, la cual tiene como propósito la formación de profesionales capacitados para controlar y optimizar procesos industriales.

La Universidad Nacional de San Juan ofrece dentro de sus carreras la de Ingeniero Electromecánico con Orientación en Control. La Universidad Nacional de la Pampa tiene entre sus titulaciones la de Ingeniero Electromecánico con Orientación en Automatización Industrial. Por su parte la Universidad Autónoma de Entre Ríos oferta la titulación de Técnico Universitario en Automatización y Control de Procesos Industriales.

Estudios de ingeniería afines en Colombia

En Colombia la educación superior es regulada por la Ley 30 de 1992, y algunas precisiones adicionales de la Ley 115 de 1994, donde se establece que la Educación Superior debe ser un servicio público cultural, inherente a la finalidad social del Estado. Se imparte en instituciones de Educación Superior clasificadas por la ley en Instituciones Técnicas Profesionales, Instituciones Universitarias o Escuelas Tecnológicas y Universidades. Colombia es uno de los países latinoamericanos con mayor cantidad de instituciones universitarias, en mayor medida privadas. La ley garantiza la autonomía universitaria. Las universidades podrán definir sus directivas y regirse por sus propios estatutos, de acuerdo con la ley [165].

En el nivel de grado se encuentran las carreras profesionales (4-5 años), las licenciaturas en docencia (5 años), las carreras tecnológicas (3 años) y las carreras técnicas (2 años). En el nivel de posgrado se reconocen las especializaciones, las maestrías y los doctorados. Hay adicionalmente una serie de diplomados y otros cursos de educación continua que en pocas semanas o meses permiten al profesional conocer nuevas técnicas o mantenerse actualizado.

Las asignaturas relacionadas con el control automático se cursan en las carreras de Ingeniería Electrónica, Ingeniería Eléctrica e Ingeniería Mecánica. La Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones (FIET), de la Universidad del Cauca, cuenta con el programa de Ingeniería en Automática Industrial y la especialización en Automática. Estos programas se encuentran avalados por grupos de investigación reconocidos y acreditados, como el Grupo de I+D en Automática Industrial. Por su parte la Universidad Distrital Francisco José de Caldas ofrece la especialización en Informática y Automática Industrial, con el objetivo de formar profesionales con habilidad para diseñar propuestas que se adapten a técnicas de informática avanzada y sistemas modernos de producción basados en automatización y redes industriales.

Estudios de ingeniería afines en Cuba

En Cuba corresponde al Ministerio de Educación Superior (MES) dirigir normativa y metodológicamente la Educación Superior. Los tipos de centros de la red de educación superior en Cuba son: Universidad, Instituto Superior Politécnico, Instituto Superior y Centro Universitario. Con posterioridad se han creado otros nuevos tipos de Centros de Educación Superior (CES) los cuales han sido adscriptos de acuerdo a su misión y objetivos a los organismos afines [145].

Los CES otorgan títulos y grados como tipos de certificaciones. El título se considera tanto un tipo de certificación de estudios terminados de nivel superior o pregrado, u otra que incluye la certificación de ciertas modalidades de la formación académica de posgrado (tales como la Maestría y la Especialidad de postgrado). El *grado* se refiere al nivel científico alcanzado mediante el estudio de una disciplina y el desarrollo de actividades de investigación y que incluye la elaboración, defensa y aprobación de una tesis, capacitando a la persona para la investigación independiente y original (con la obtención del título de Doctor en Ciencias y de Doctor en Ciencias de determinada Especialidad). Dentro de los títulos se encuentra el de Ingeniero(a) que se obtiene al término de una Ingeniería en un período de 5 años. Lo obtienen los graduados en Ciencias Técnicas (excepto en las carreras de Diseño Industrial y Diseño Informacional) y en Ciencias Agropecuarias (excepto en la carrera de Medicina Veterinaria). Existe una amplia gama de títulos universitarios dentro de los cuales 17 son del área de las Ciencias Técnicas.

Los planes de estudio para las diferentes carreras universitarias del país son aprobados por el MES. En la actualidad están vigentes los planes y programas de estudios de tercera y cuarta generación ("Planes D") que serán los que imperarán en la inmensa mayoría de las carreras.

Los estudios de automatización tienen sus inicios en Cuba en la década de los años 60 con la llegada de especialistas checoslovacos en el campo de la automatización. Es a partir del trabajo elaborado por ellos cuando comienzan a impartirse asignaturas relacionadas con el Control Automático en la Universidad de Oriente y el Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría de La Habana. Los primeros graduados reciben un número limitado de asignaturas relacionadas con el Control Automático. Posteriormente, comienzan a prepararse de forma similar profesionales en este perfil en la Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. A partir del curso 1990-91 se inicia la preparación de profesionales en la carrera de Ingeniería en Automática. Esta carrera surge a partir de la fusión entre las carreras de Máquinas Computadoras y Control Automático. Adicionalmente se ofrece la Maestría en Automática y se dispone de un Programa Nacional de Doctorado en Automática en el que colaboran especialistas de todo el país.

El graduado en Ingeniería Automática es un profesional del perfil amplio y debe tener los elementos básicos para poder participar en tareas de diseño en sus esferas de actuación, como son los sistemas de control, la instrumentación, la electrónica y la computación (hardware y software de bajo y alto nivel), y en la enseñanza de los mismos.

Existen otras carreras de ingeniería que imparten asignaturas de control automático, como es el caso de Ingeniería Eléctrica, Ingeniería Biomédica, Ingeniería Mecánica, Ingeniería Industrial e Ingeniería Química.

2.1.3 Características y estructura de los estudios en países de Europa

Una de las tendencias más significativas en la educación superior europea durante la última década ha sido su continuo proceso de expansión, con un incremento medio del número de estudiantes del 25%. Este proceso de ampliación es un fenómeno global relacionado con la reorientación hacia una sociedad basada en el conocimiento y que genera nuevos retos para Europa [66].

La construcción del Espacio Europeo de Educación Superior es un proceso que se inicia con la Declaración de La Sorbona (1998) y que se fortalece y amplía con la Declaración de Bolonia (1999).

Los objetivos estratégicos que perseguían eran: el aumento del empleo en la Unión Europea y hacer del sistema Europeo de Educación Superior un polo de atracción para estudiantes y profesores de todo el mundo. Para este fin, se diseñó un proceso que conduce a la convergencia de las estructuras educativas, eliminando las barreras existentes y dotando así al sistema de flexibilidad y de mayores oportunidades de formación en la Unión Europea.

En estas declaraciones, los ministros europeos de educación instan a los estados miembros de la Unión Europea a desarrollar e implantar en sus países las siguientes actuaciones:

- Adoptar un sistema de titulaciones comprensible y comparable para promover las oportunidades de trabajo y la competitividad internacional de los sistemas educativos superiores europeos mediante, entre otros mecanismos, la introducción de un suplemento europeo al título.
- Establecer un sistema de titulaciones basado en dos niveles principales. La titulación del primer nivel será pertinente para el mercado de trabajo europeo, ofreciendo un nivel de cualificación apropiado. El segundo nivel, que requerirá haber superado el primero, ha de conducir a titulaciones de postgrado, tipo máster y doctorado.
- Establecer un sistema común de créditos para fomentar la compatibilidad de los estudios y promover la movilidad de los estudiantes y titulados.
- Fomentar la movilidad con especial atención al acceso a los estudios de otras universidades europeas y a las diferentes oportunidades de formación y servicios relacionados.
- Impulsar la cooperación europea para garantizar la calidad y para desarrollar unos criterios y unas metodologías educativas comparables.
- Promover la dimensión europea de la educación superior y, en particular, el desarrollo curricular, la cooperación institucional, esquemas de movilidad y programas integrados de estudios, de formación y de investigación.

Con posterioridad, en el Comunicado de Praga (2001) se agregan algunas líneas:

- El aprendizaje a lo largo de la vida como elemento esencial para alcanzar una mayor competitividad europea, para mejorar la cohesión social, la igualdad de oportunidades y la calidad de vida de los ciudadanos.
- El rol activo de las universidades, de las instituciones de educación superior y de los estudiantes en el desarrollo del proceso de convergencia.
- La promoción del Espacio Europeo de Educación Superior mediante el desarrollo de sistemas de garantía de la calidad y de mecanismos de certificación y de acreditación.

Entre las conclusiones de la Presidencia del Consejo Europeo de la Cumbre de Jefes de Estado, celebrada en Barcelona en marzo de 2002, está la de crear las condiciones prácticas necesarias para garantizar la movilidad en los ámbitos de la educación, la investigación y la innovación, así como reducir los obstáculos normativos y administrativos para el reconocimiento profesional. Esta cumbre supuso un hito importante en el proceso de construcción del Espacio Europeo de Educación Superior. De igual forma, el Parlamento Europeo, en mayo de 2002, expresó su apoyo incondicional a la creación de este espacio educativo común, destacando su importancia y demandando el apoyo a las diferentes instituciones y países.

El comunicado de Berlín en 2003, mantiene y refuerza los objetivos de reuniones anteriores, intensifica los mecanismos para el aseguramiento de la calidad, establece de forma clara y contundente las conexiones entre el Espacio Europeo de Educación Superior (EEES) y el Espacio Europeo de Investigación definiéndolos como los dos pilares básicos para construir la sociedad del conocimiento y da la bienvenida a otros países del mundo que quieran participar en el proceso.

Todo este proceso ha producido un movimiento progresivo en Europa hacia el modelo Licenciatura-Máster (*Bachelor-Master*, BaMa). Los modelos posibles que se han aplicado son:

- Una licenciatura progresiva que lleva a un título con plena relevancia para el mercado laboral.

- Una licenciatura en un esquema integrado que aporta un título intermedio, pero el nivel profesional pleno se consigue en el título de máster.

Algunos países combinan los dos modelos dependiendo del ámbito de los estudios.

En cuanto a la duración de los estudios, en muchos de los países europeos los estudios de grado son de 3 años, aunque en la práctica el acceso al mercado laboral se alcanza con una estructura 3+1 o de 4 años. Las soluciones de 3+2 y 4+1 son las más adecuadas en dependencia del campo de estudio.

Estudios de ingeniería en Alemania

En Alemania los estudios de ingeniería se ofrecen principalmente en instituciones públicas y, en menor medida, en centros privados. Las escuelas de ingenieros dependen directamente de los distintos *Bundesländer* (regiones) por lo que existe gran diversidad de enfoques.

Los dos sistemas universitarios principales son las Universidades de Ciencias Aplicadas (*Fachhochschule*, FH) y los Institutos de Tecnología (*Technische Hochschule*, TH) o Universidades Técnicas (*Technische Universität*, TU). Junto a ellos existe el sistema Integral de la Universidad (*Gesamthochschule*), que combina los dos modelos anteriores en uno solo. La diferencia entre la FH y la TH/TU reside en que las TU están orientadas al desarrollo científico y tecnológico mediante el estudio, la educación y la investigación. En cambio las FH preparan a los estudiantes para aplicar directamente el conocimiento científico y tecnológico en tareas profesionales.

Durante el proceso de Bolonia los programas han sido transformados al modelo *Licenciatura-Master* en una estructura de 4+1 y, en menor medida y básicamente a nivel de las Universidades (TU), se ha tendido hacia modelos 3+2.

En un estudio realizado en España por la Agencia Nacional de Evaluación de la Calidad y Acreditación (ANECA) [7] se determinó que existen en Alemania 97 titulaciones/escuela con descriptores propios de la Ingeniería Electrónica y Automática. Los descriptores analizados fueron: Automatización, Control, Electrónica Industrial, Robótica y Sensores/actuadores. Teniendo en cuenta que a la fecha de ese estudio, las universidades alemanas tenían 960

titulaciones/escuela, se nota la relevancia que tienen los estudios de Ingeniería Electrónica y Automática en ese país.

Las titulaciones más comunes en las que se enseñan materias de control son la Ingeniería Eléctrica, la Ingeniería Mecánica, la Mecatrónica, Ingeniería en Automatización e Ingeniería Electrónica. En la *Hochschule Harz* se estudian los programas de “Sistemas de Automatización e Ingeniería Computacional” y “Mecatrónica y Sistemas de Automatización”. En la Universidad Técnica Chemnitz y en la *Hochschule Kempten* se estudia Mecatrónica. En la Universidad de Hamburgo además de Mecatrónica se estudia Ingeniería Biomédica e Ingeniería de Procesos.

Estudios de ingeniería en el Reino Unido

El Reino Unido es el destino más solicitado por los estudiantes europeos desde los inicios del Programa Erasmus. Es también el país de la Unión Europea que recibe en sus instituciones de enseñanza superior el mayor número de estudiantes y titulados de ingeniería procedentes de terceros países. Su sistema de enseñanza superior es, junto con el de EEUU, el más internacional y de más amplio reconocimiento mundial en la actualidad [7].

En el grado, el título característico en ingeniería es Licenciatura en Ingeniería (*Bachelor of Engineering, BEng*) de cuatro años de duración. Junto a la licenciatura existe también a este nivel el título de Master de Ingeniería (*Master of Engineering, MEng*), de cinco años o de estructura combinada 4+1 si se accede desde un *BEng*. El contenido de sus cursos técnicos es más avanzado y aporta, además, formación transversal en temas como Negocios, Gestión e idiomas. En cuanto al nivel de especialización, en la práctica no hay diferencias significativas entre los titulados *MEng* y los titulados *BEng*.

En el nivel de postgrado los principales títulos son Maestría en Ciencias (*Master's degree of Science, MSc*) y los denominados diplomas de postgrado. Ambos son similares salvo en lo referente a su duración: 12 meses para el *MSc* y 9 para los diplomas de postgrado. Estos títulos están diseñados para preparar a los recién titulados en *BEng* o *MEng* en el trabajo dentro de un área específica de la industria.

Las materias relacionadas con la ingeniería del control son impartidas en las carreras de Ingeniería Mecánica, Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Mecatrónica, etc. Muchas universidades cuentan con departamentos y grupos

de investigación que avalan estos estudios. La Universidad Sheffield, oferta la carrera de “Control Automático e Ingeniería de Sistemas”.

Estudios de ingeniería en Francia

El sistema de enseñanza de la ingeniería en Francia es único en el mundo por su particular enraizamiento en la cultura y tradición francesa. Es un sistema de educación superior binario en el que coexisten universidades con escuelas profesionales. Las formaciones francesas de ingenieros combinan una muy buena preparación teórica en las materias científicas con una experiencia práctica de la profesión de ingeniero. Las estrechas relaciones que las escuelas tienen con el mundo empresarial constituyen un punto fuerte a nivel pedagógico y profesional [131].

Las escuelas de ingeniería francesas imparten un tipo muy particular de estudios superiores. Es una formación de élite, con una enorme reputación. Los dirigentes de las grandes empresas provienen generalmente de las grandes escuelas más prestigiosas entre las cuales están *Polytechnique, Mines Paris, Centrale Paris, Ponts et Chaussées, Supélec*.

El Diploma de Ingeniero (*Diplôme d’Ingenieur*) se obtiene en las *Grandes Écoles* (GEs), a las que se accede después de superar un examen selectivo tras dos años de clases preparatorias (*Classes Préparatoires*) con fuerte énfasis en matemáticas. Las demás enseñanzas técnicas Post-Bachillerato (*post-Baccalauréat*) pueden cursarse en otros centros universitarios distintos a las GEs.

En las enseñanzas técnicas los dos principales programas de cuatro años son, el Maestro de Tecnología (*Maîtrise Technologique, MT*) y la Maestría en Ciencia y Tecnología (*Maîtrise des Sciences et Techniques, MST*), y la Maestría de Ingeniería (*Diplôme d’Ingénieur-Maître*). Los títulos de Maestro (*Maîtrise*) se cursan en las universidades y se accede a ellos por riguroso procedimiento de selección mediante la nota de corte del Diploma de Estudios Generales de la Universidad (*Diplôme d’Etudes Universitaires Générales, DEUG*) o del Diploma de Estudios Generales de la Universidad en Tecnología Industrial (*Diplôme d’Etudes Universitaires Générales en Technologie Industrielle, DEUG TI*). Tras él hay dos años más de formación: después del primero de ellos se obtiene el título de Licenciatura (*Licence*) y tras el segundo, finalmente, el de Maestría (*Maîtrise*). La Maestría de Ingeniería se obtiene en

los Institutos Universitarios profesionalizado (*Instituts Universitaires Professionnalisées, IUPs*), que están integrados en las universidades y a los que se accede por nota de corte finalizado el primer año de DEUG/DEUG TI. Tras este primer año hay dos más de formación: al finalizar el primero de ellos se obtiene el título de Licencia *IUP* y en el segundo el de Maestría de Ingeniería [7].

En el proceso de Bolonia se ha impuesto la introducción de programas de cuatro años, sustituyendo a los títulos de Maestría de Ingeniería y de Maestro. La estructura 4+1 dota a las universidades francesas de mayor competitividad frente al grupo de las cerca de 200 GEs, que sigue abogando por una estructura de 2+3.

En la *Université des Sciences et Technologies* de Lille se puede obtener el un título en la Maestría en Ciencia y Tecnología Físicas y Aplicaciones de Medición y Control. La *École Nationale Supérieure de Techniques Avancées ParisTech* dentro de sus especialidades tiene la de Robótica y Sistemas Empotrados. La *Ecole Centrale Nantes* imparte la Maestría en Ingeniería de Control: Control Automático, Robótica, Señales e Imágenes. La *École d'ingénieurs Supélec* dentro de sus programas de ingeniería tiene Sistemas y Control, Control e Ingeniería de Sistemas y Sistemas Interactivos y Robótica.

Estudios de ingeniería en Bélgica

En Bélgica existen dos tipos de títulos de ingeniero: el título de Ingeniero Civil que se obtiene únicamente en las universidades y el título de Ingeniero Industrial que se obtiene en las Escuelas Superiores de Ingenieros.

El título universitario es preferentemente un título académico, orientado hacia la investigación y la continuación de estudios de doctorado. Sus programas de estudio tienen un fuerte contenido en ciencias fundamentales e iniciación a la investigación. Los estudios de ciclo largo siguen las etapas de Licenciatura y Máster. Como consecuencia del proceso de convergencia europeo se han reformado los estudios de tercer ciclo. Las titulaciones tienen una concepción similar a las de las *Grandes Ecoles* francesas y las *Technische Unniversitäten* (TUs) alemanas.

El Colegio Antwerpen es una de las instituciones más representativas de las escuelas técnicas superiores de ingenieros de Flandes. Se crea en 1995 como fusión de 17 institutos y centros distintos, entre ellos el Instituto Flamenco de

Ingeniería Industrial. El Departamento de Ciencias Industriales propone cuatro programas académicos conducentes a la titulación en Ingeniería Industrial: construcción, química, electromecánica y electrónica-TIC. Desde el primer día, el alumno elige uno de estos cuatro programas. Los programas de licenciatura y maestría conducentes al título de Ingeniero Industrial están orientados a enseñar a nivel académico. La enseñanza está muy relacionada con las actividades de investigación y en colaboración con universidades e instituciones de investigación flamencas e internacionales. El programa de licenciatura se compone de 180 créditos. Los alumnos pueden continuar sus estudios con un máster de 60 créditos. Dentro de las asignaturas relacionadas con la ingeniería del control de este programa se encuentran “Automatización de la producción”, “Técnicas de control”, “Ingeniería del Control”, “Mecatrónica”, “Robótica”, “Automatización de procesos”, etc.

El Colegio Gent dentro de sus programas de licenciatura académicas presenta la ingeniería aplicada. El programa desarrolla un amplio conocimiento científico durante los tres primeros semestres. A continuación sigue una especialización aplicada en: Construcción, Química, Electromecánica, Electrónica - TIC, Informática o Tecnología Textil. Después de completar el programa de licenciatura académica se puede aumentar el conocimiento del dominio tecnológico a través del Máster, obteniéndose este título y el de Ingeniero Industrial.

Estudios de ingeniería en Irlanda

Irlanda es tras Reino Unido el destino más demandado por los estudiantes europeos dentro del Programa Erasmus. Es también el cuarto país de la Unión Europea en cuanto a número de estudiantes y titulados de ingeniería procedentes de programas de intercambio. Su sistema de enseñanza superior sigue el modelo anglosajón, aunque se caracteriza por su mayor flexibilidad y carácter innovador [7].

La enseñanza de la ingeniería se distribuye entre las universidades y los denominados Institutos de Tecnología (*Institutes of Technology*, ITs) junto a los Colegios de Educación Vocacional (*Vocational Education Colleges*, VECs). No obstante, el organismo profesional oficial de la ingeniería en Irlanda, el Instituto de Ingenieros de Irlanda (*Institution of Engineers of Ireland*, IEI), sólo reconoce

como título de ingeniero con plenas competencias profesionales a la Licenciatura en Ingeniería ofertado en las Universidades.

La Licenciatura en Ingeniería irlandés tiene una duración oficial de cuatro años. Sus titulados tienen acceso directo a los programas de Máster de Ingeniería. Ambos programas incluyen formación presencial, incorporación a prácticas en empresas y realización de varios proyectos con fuerte contenido de diseño. También es posible en algunos casos acceder directamente desde una Licenciatura en Ingeniería a un programa de doctorado (Ph.D), de entre 4 y 5 años de duración.

Las universidades irlandesas tienen un espíritu innovador, como la Universidad de Dublin City, la cual se encuentra muy ligada a su entorno social, tecnológico e industrial. Dentro de las propuestas innovadoras se encuentra el incorporar las prácticas obligatorias en empresa como parte integral de los planes de estudio oficiales. También la introducción de la formación transversal obligatoria, especialmente en lenguas extranjeras, tecnologías de la información, economía e integración social.

Por su parte, la Universidad de Limerick es una de las principales universidades de Irlanda y una de las de mayor tradición; cuenta con seis Escuelas estructuradas en 22 Departamentos que ofrecen más de doscientas titulaciones. La Facultad de Ingeniería ofrece 25 titulaciones de ingeniería, todas ellas de cuatro años, pertenecientes a cuatro especialidades distintas. Los estudios se cursan bajo la fórmula denominada educación cooperativa, que promueve la obtención de experiencia profesional e internacional paralelamente a la formación clásica de aula y laboratorio.

Las asignaturas del perfil de la ingeniería del control se encuentran en el currículo principalmente de la Ingeniería Eléctrica y Electrónica, la Ingeniería Mecatrónica e Ingeniería Mecánica y de Fabricación.

La Ingeniería Mecatrónica ofrecida por la Universidad de Dublin City es uno de los títulos de ingeniería de última generación producto de la colaboración interdisciplinar de dos centros distintos: la Escuela de Ingeniería Electrónica y la Facultad de Ingeniería Mecánica y Fabricación. La titulación se centra sobre todo en los aspectos para desarrollar productos nuevos basados en principios mecatrónicos. Se enseña sobre sistemas electrónicos y mecánicos, control de procesos e instrumentación, robótica y la fabricación automatizada.

2.2 Estudios de ingeniería en España

La enseñanza universitaria en España está regulada actualmente por la Ley Orgánica 6/2001, de Universidades de 21 de diciembre y la Ley Orgánica 4/2007 de 12 de abril, la cual modifica la Ley Orgánica 6/2001.

Por otra parte, el Real Decreto 1393/2007 de 29 de octubre, establece la ordenación de las enseñanzas universitarias oficiales concretando la estructura de acuerdo con las líneas generales emanadas del EEES. Según esta estructura se divide la enseñanza universitaria en grados y programas de posgrado (que, a su vez, constan de máster y de doctorado). Los grados y los másteres toman como medida de la carga lectiva el crédito ECTS.

Según la Ley Orgánica 4/2007 para impartir enseñanzas oficiales y expedir los correspondientes títulos oficiales, con validez en todo el territorio nacional, las universidades deberán poseer la autorización pertinente de la Comunidad Autónoma y obtener la verificación del Consejo de Universidades de que el plan de estudios se ajusta a las directrices y condiciones establecidas por el Gobierno. El procedimiento deberá preservar la autonomía académica de las universidades. Tras la autorización de la Comunidad Autónoma y la verificación del plan de estudios que otorga el Consejo de Universidades, el Gobierno establece el carácter oficial del título y ordena su inscripción en el Registro de universidades, centros y títulos.

La formación de Ingenieros en España tiene una vieja tradición en Escuelas cuya antigüedad es superior a los 150 años. Su carácter tradicional ha sido siempre compatible con un esfuerzo permanente por adaptarse a las condiciones del contexto social, industrial e internacional de cada época [7, 151].

La **Ingeniería Industrial** es la titulación más demandada por las empresas y con la mayor tasa de empleo. Es la titulación de ingeniería más versátil, por la variedad de sectores en los que estos ingenieros pueden ejercer su carrera profesional. Se destacan las ramas de la ingeniería mecánica, la fabricación, la automática y la robótica, la ingeniería eléctrica, la electrónica, la energía, la construcción, la química y medioambiente, los materiales, la organización industrial, etc. Los ingenieros industriales son la base del desarrollo de la economía productiva. La titulación de Ingeniero Industrial por la Universidad Politécnica de Madrid está acreditada por ABET.

En la actualidad, el **Máster en Ingeniería Industrial** es el único título que conduce a la profesión de Ingeniero Industrial según la Orden CIN/311/2009 de 9 de febrero, por la que se establecen los requisitos para la verificación de los títulos universitarios oficiales que habiliten para el ejercicio de la profesión de Ingeniero Industrial.

El **Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales** preparara a los alumnos para acceder al Máster en Ingeniería Industrial y obtener de esa forma el título de Ingeniero Industrial. Se puede acceder de igual forma a este máster desde los grados especialistas de la rama industrial.

El Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales presenta un módulo de formación básica, un módulo común a la rama industrial y a partir del tercer año se elige un módulo de especialidad: Automática y Electrónica, Ingeniería Eléctrica, Mecánica, etc. y un trabajo de fin de grado. Tras realizar el Máster en Ingeniería Industrial y obtener el título de Ingeniero Industrial, los graduados pueden ejercer en todos los campos del área industrial, independientemente de la especialidad que hayan cursado.

Por otra parte, están las titulaciones de la rama de la Ingeniería Industrial. Están comprendidos en estas titulaciones los Grados Especialistas y los Másteres de Especialización. Dentro de estos Grados se encuentra el **Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática**.

El Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática es la titulación diseñada en el marco del Espacio Europeo de Educación Superior que habilita la profesión de Ingeniero Técnico Industrial en la especialidad de Electrónica Industrial y Automática.

El título de Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática despierta gran interés debido a la demanda de profesionales con capacidad de desarrollar la automatización de sistemas de producción mediante robots industriales, complejos sistemas electrónicos de potencia para la conversión eficiente de la energía eléctrica, la regulación de motores, de sistemas de iluminación, etc. El titulado puede aplicar sus conocimientos al desarrollo de sistemas que introduzcan mejoras en los más variados procesos industriales, pero también pueden emplearse en ámbitos como la medicina, la agricultura, los procesos de distribución de mercancías, en sistemas de gestión de tráfico, en producción y distribución de energía, tecnología espacial, aeronáutica, etc.

Este perfil de carácter transversal hace que sea esta una titulación fácilmente adaptable a las características socioeconómicas del área de influencia, tanto a nivel internacional, nacional o regional.

Al título de Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática se puede acceder desde el bachillerato o en algunas escuelas, como la ETSI Industriales de la UPM, desde el Grado en Tecnologías Industriales. Los planes de estudios del Grado en Tecnologías Industriales se han fijado en 4 años y tendrán una duración de 240 créditos europeos. Deberán cursarse el bloque de formación básica de 60 créditos, el bloque común a la rama industrial de 60 créditos, un bloque completo de 48 créditos, correspondiente a cada ámbito de tecnología específica, y realizarse un trabajo de fin de grado de 12 créditos.

En otras titulaciones de grado están presentes las asignaturas afines a la ingeniería del control como: Grado en Ingeniería Eléctrica, Grado en Ingeniería Mecánica y Grado en Ingeniería Química.

En el postgrado de esta especialidad las asignaturas de control están presentes en el **Máster y Doctorado en Automática y Robótica**. El Máster de otras especialidades también incorpora cursos relacionados con la ingeniería del control.

2.3 Competencias del Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática

Como se ha planteado con anterioridad, la creación del Espacio Europeo de Educación Superior (EEES) lleva aparejados cambios diversos y profundos. Uno de los cambios centrales es la apuesta decidida por focalizar la atención de los procesos formativos en los aprendizajes de los estudiantes y, más concretamente, en los resultados de aprendizaje expresados en términos de competencias. Por tanto las competencias son el eje central del nuevo sistema educativo. No basta con que un alumno domine un conjunto de conocimientos técnicos y específicos sino que, a partir de ahora, el estudiante debe además adquirir una serie de competencias que garanticen que es capaz de ejercer eficaz y adecuadamente la labor para la que ha sido preparado. En todo caso, los contenidos siguen siendo necesarios e imprescindibles aunque adquieren un carácter práctico y de aplicabilidad.

El término competencia se debe interpretar como el conocimiento, la capacidad, la habilidad o la destreza adquiridos que dan lugar a un nivel adecuado y óptimo de desempeño y actuación profesional [147].

El currículo del Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática se basa en el conocimiento y está orientado hacia el ejercicio de la profesión. La formación se lleva a cabo en un marco académico en el que se garantiza que se adquieran con solidez los fundamentos, técnicas, capacidades, habilidades y actitudes o competencias. Todo el proceso educativo deberá estar dirigido por lo útil del conocimiento (competencias transversales) y por el conocimiento de lo útil (competencias específicas).

El Boletín Oficial del Estado (BOE) 2893 de 2009 establece los requisitos para la verificación de los títulos universitarios oficiales que habiliten para el ejercicio de la profesión de Ingeniero Técnico Industrial [104]. En esta Orden se definen las competencias que los alumnos deben adquirir:

- Capacidad para la redacción, firma y desarrollo de proyectos en el ámbito de la ingeniería industrial que tengan por objeto, de acuerdo con los conocimientos adquiridos según lo establecido en el apartado 5 de esta orden, la construcción, reforma, reparación, conservación, demolición, fabricación, instalación, montaje o explotación de: estructuras, equipos mecánicos, instalaciones energéticas, instalaciones eléctricas y electrónicas, instalaciones y plantas industriales y procesos de fabricación y automatización.
- Capacidad para la dirección, de las actividades objeto de los proyectos de ingeniería descritos en el epígrafe anterior.
- Conocimiento en materias básicas y tecnológicas, que les capacite para el aprendizaje de nuevos métodos y teorías, y les dote de versatilidad para adaptarse a nuevas situaciones.
- Capacidad de resolver problemas con iniciativa, toma de decisiones, creatividad, razonamiento crítico y de comunicar y transmitir conocimientos, habilidades y destrezas en el campo de la Ingeniería Industrial.
- Conocimientos para la realización de mediciones, cálculos, valoraciones, tasaciones, peritaciones, estudios, informes, planes de labores y otros trabajos análogos.

- Capacidad para el manejo de especificaciones, reglamentos y normas de obligado cumplimiento.
- Capacidad de analizar y valorar el impacto social y medioambiental de las soluciones técnicas.
- Capacidad para aplicar los principios y métodos de la calidad.
- Capacidad de organización y planificación en el ámbito de la empresa, y otras instituciones y organizaciones.
- Capacidad de trabajar en un entorno multilingüe y multidisciplinar.
- Conocimiento, comprensión y capacidad para aplicar la legislación necesaria en el ejercicio de la profesión de Ingeniero Técnico Industrial.

Los perfiles profesionales básicos a que da lugar la titulación de Graduado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática, aprobados por el Pleno de la Conferencia de Directores de Escuelas de Ingenieros Industriales, son los siguientes:

- Desarrollo de sistemas de control y automatización.
- Desarrollo de sistemas electrónicos industriales.
- Desarrollo de sistemas robotizados.
- Ingeniería de mantenimiento de este tipo de instalaciones.

Otro objetivo fundamental, es que estos graduados adquieran una serie de competencias transversales técnicas, sistémicas, participativas y personales.

Dichas competencias se reflejan en los siguientes objetivos del título:

- Adquirir conocimientos en el ámbito de la Ingeniería Electrónica y Automática, que si bien se apoyan en libros de texto avanzados, también incluyen algunos aspectos que implican conocimientos procedentes de la vanguardia de este campo de estudio.
- Aplicar dichos conocimientos al ejercicio profesional y poseer las competencias que suelen demostrarse por medio de la elaboración y defensa de argumentos y resolución de problemas dentro de esta área de estudio.
- Tener la capacidad de reunir e interpretar datos relevantes para emitir juicios que incluyan una reflexión sobre temas relevantes de índole social, científica o ética.
- Capacidad para transmitir información, ideas, problemas y soluciones a un público tanto especializado como no especializado.

- Desarrollar aquellas habilidades de aprendizaje necesarias para emprender estudios posteriores con un alto grado de autonomía.

Durante la celebración de las XXXII Jornadas de Automática que tuvieron lugar en la Escuela Superior de Ingeniería de Sevilla del 7 al 9 de septiembre de 2011, se desarrolló una Mesa Redonda sobre Competencias Obligatorias de Automática presentes en los títulos de Grado de la Rama Industrial con atribuciones profesionales. En esta sesión se debatió sobre los contenidos más idóneos para que los alumnos puedan alcanzar las competencias de Automática en estos títulos.

Con anterioridad, una comisión del área de conocimiento había elaborado un documento con los contenidos que dicha comisión consideraba debían abordarse en la formación de los alumnos para que adquirieran las competencias correspondientes. Dicho documento fue sometido a una encuesta enviada tanto a los miembros del Comité Español de Automática (CEA) como de la Sociedad Internacional de Automatización (*The International Society of Automation, ISA*).

La presentación del documento y de la encuesta realizada suscitó discrepancias entre el profesorado y los profesionales que trabajan en las empresas sobre el enfoque docente más idóneo en algunos contenidos de la formación de Automática. Debido a que el documento presentado sólo abordaba los contenidos teóricos, se consideró oportuno continuar con el trabajo para completarlo con los aspectos prácticos más apropiados.

En la Tabla 2.1 [41] se muestran las competencias propias de la Automática y las titulaciones donde se imparten a partir de las competencias establecidas en la Orden CIN/351/2009, de 9 de febrero.

En la titulación de Graduado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática se imparten las seis primeras competencias.

Por cada una de estas competencias se han definido los contenidos teóricos y prácticos que deben ser abordados. Este documento ha sido consultado por los socios de CEA e ISA obteniéndose la valoración media para cada uno de los apartados. Estos resultados pueden tomarse como base para dimensionar la profundidad y el tiempo de dedicación para cada uno de los contenidos [41].

Competencias	Titulación				
	Electrónica y Automática	Eléctrica	Química	Mecánica	Textil
1. Conocimientos sobre los fundamentos de los automatismos y métodos de control					
2. Conocimiento y capacidad para el modelado y simulación de sistemas					
3. Conocimientos de regulación automática y técnicas de control y su aplicación a la automatización industrial					
4. Conocimiento de principios y aplicaciones de los sistemas robotizados					
5. Conocimiento aplicado de informática industrial y comunicaciones					
6. Capacidad de diseñar sistemas de control y automatización industrial					
7. Capacidad de diseñar, gestionar y operar procedimientos de simulación, control e instrumentación de procesos químicos					
8. Conocimiento de los principios de la regulación automática y su aplicación a la automatización industrial					

Tabla 2.1 Competencias propias de la Automática y las titulaciones donde se imparten.

2.3.1 Competencia: Conocimientos sobre los fundamentos de los automatismos y métodos de control

La competencia *Conocimientos sobre los fundamentos de los automatismos y métodos de control* es común a todas las titulaciones del Grado en Tecnologías Industriales.

Dentro de los conocimientos teóricos que deben estar presentes para lograr la adquisición de esta competencia están los conceptos generales de automatización, el concepto de bucle de control y las variables y elementos que lo conforman. También está presente todo lo relacionado con el estudio en bucle cerrado: conceptos de estabilidad, errores estacionarios y robustez. Los conceptos de funciones de transferencia, dinámica de sistemas y modelos elementales son además tratados.

Otro de los conocimientos teóricos fundamentales es el funcionamiento de un controlador, el análisis de las acciones de un regulador PID y la sintonía de controladores. De igual forma, se verán los sistemas combinacionales y secuenciales y el modelado y control de sistemas discretos.

Los temas de instrumentación relacionados con los sistemas de medida, transmisores y actuadores, así como los autómatas programables estarán presentes en esta competencia común a todas las titulaciones.

Dentro de los aspectos prácticos necesarios para lograr la adquisición de esta competencia en los alumnos se destacan prácticas de laboratorio de instrumentación, de modelado y análisis de sistemas lineales, de control de sistemas continuos y modelado y de control lógico de un sistema con un autómata programable (PLC).

2.3.2 Competencia: Conocimiento y capacidad para el modelado y simulación de sistemas

La competencia *Conocimiento y capacidad para el modelado y simulación de sistemas* es propia de la titulación de Graduado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática.

Se sugiere para lograr la adquisición de esta competencia los conocimientos teóricos relacionados con el modelado dinámico de sistemas físicos continuos, discretos y de eventos. También estarán presentes los temas de hacer los modelos lineales, modelado causal y no causal y los métodos de identificación de modelos lineales y su validación.

Los conocimientos teóricos sobre simulación de sistemas discretos: algoritmos, lenguajes y simuladores serán de igual forma importantes para cumplir con la adquisición de esta competencia.

Dentro de los aspectos prácticos necesarios para lograr la adquisición de esta competencia en los alumnos se destacan prácticas de laboratorio sobre modelado físico de un proceso, simulación en un lenguaje de simulación continua, identificación de un sistema lineal, modelado de sistemas lógicos y secuenciales y simulación con un lenguaje de eventos.

2.3.3 Competencia: Conocimientos de regulación automática y técnicas de control y su aplicación a la automatización industrial

La competencia *Conocimientos de regulación automática y técnicas de control y su aplicación a la automatización industrial* es específico de la titulación de Graduado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática.

Para la adquisición de esta competencia son necesarios los conocimientos teóricos sobre los sistemas lineales y su descripción interna mediante el espacio de estados y externa mediante la función de transferencia.

También es importante el análisis de sistemas lineales en bucle abierto y bucle cerrado por supuesto con más profundidad a lo tratado en la competencia común a todas las ingenierías. La respuesta en frecuencia, el diseño de controladores (PID), la robustez y la estimación de estados y de variables no medidas son otros de los temas que se deben tratar para lograr la adquisición de esta competencia.

Con vistas a formar a los alumnos es necesario tratar otras técnicas de control como el predictor de Smith, la asignación de polos, etc. y analizar estructuras clásicas de control. Los sistemas multivariables, la interacción y el desacople de variables y los sistemas no lineales deben ser introducidos también.

Un aspecto muy importante a tratar es las herramientas de diseño de sistemas de control asistido por computador.

En cuanto a los aspectos prácticos se deben realizar prácticas de laboratorio enfocadas al modelado y linealización de sistemas y el análisis dinámico en el dominio de la frecuencia y el tiempo.

Una de las actividades prácticas de mayor importancia que se debe realizar es la sintonía y diseño de reguladores y el diseño de estructuras de control.

También los alumnos deben realizar actividades prácticas relacionadas con el filtrado y estimación de estados, el estudio de la interacción en sistemas multivariantes y los efectos de las no-linealidades.

2.3.4 Competencia: Conocimientos de principios y aplicaciones de los sistemas robotizados

Esta competencia *Conocimientos de principios y aplicaciones de los sistemas robotizados*, al igual que la anterior, es específica para la titulación de Graduado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática.

Esta competencia está relacionada con los temas de robótica. Los aspectos teóricos que deben ser tratados para la adquisición de la competencia son morfología, cinemática y dinámica de robots. El control de movimiento y de fuerza y la programación de robots también estarán presentes.

Serán vistas las aplicaciones más comunes de la robótica y los sistemas de percepción. Además se realizará una introducción a la visión artificial.

Las actividades prácticas a realizar con vistas a lograr la adquisición de la competencia deben ser sobre programación de tareas robotizadas, control de movimiento y de fuerza y procesamiento de imágenes.

2.3.5 Competencia: Conocimiento aplicado de informática industrial y comunicaciones

Como se ha comentado con anterioridad, la ingeniería de control tiene una estrecha relación con los sistemas informáticos y las comunicaciones, por eso es muy importante tratar los aspectos teóricos relacionados con estos temas.

La competencia *Conocimiento aplicado de informática industrial y comunicaciones* es propia del Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática.

En esta competencia se verán los aspectos teóricos sobre los sistemas de adquisición de datos, los sistemas de control distribuido, las redes y comunicaciones industriales y los buses de campo. Se verán algunos protocolos de comunicación como OPC.

Es de gran importancia los temas de instrumentación inteligente y los sistemas inalámbricos. Las estructuras de datos y las bases de datos son también vistas en esta competencia.

Los aspectos relacionados con los sistemas de información y la gestión en la empresa, los sistemas de tiempo real, los microcontroladores y sistemas empujados y la integración de aplicaciones son aspectos teóricos que deben ser tratados además.

Las actividades prácticas deben estar enfocadas a la configuración y uso de un sistema SCADA y de una red industrial de comunicaciones. También la configuración de OPC e instrumentación inteligente y la implementación de un sistema de medida y control en un microcontrolador.

2.3.6 Competencia: Capacidad para diseñar sistemas de control y automatización industrial

La competencia *Capacidad para diseñar sistemas de control y automatización industrial* es la última de las competencias asociadas con la Automática que presenta el Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática.

Los aspectos teóricos que se verán en esta competencia están relacionados con la instrumentación, el acondicionamiento y la adquisición de señales, los sensores y actuadores y el procesado de señales.

Además se tratarán los temas de control digital y la implementación de algoritmos de control.

La programación de autómatas programables, los sistemas instrumentados de seguridad y la supervisión y optimización de procesos son aspectos además tratados.

El tema relacionado con la gestión de proyectos de instrumentación y de control es muy importante en la formación del ingeniero en Electrónica Industrial y Automática.

Las actividades prácticas que complementan la adquisición de esta competencia están enfocadas a la configuración y uso de dispositivos de adquisición de datos, el procesado digital de señales y el diseño de controladores digitales.

De igual forma son muy importantes las actividades prácticas sobre los lenguajes de programación de PLC y la implementación de sistemas de seguridad.

2.4 Créditos y carga del estudiante. Sistema Europeo de Transferencia y Acumulación de Créditos (ECTS)

Un sistema de créditos es un modo de valorar, medir, describir y comparar los resultados del aprendizaje; los propios créditos constituyen un método cuantitativo para indicar el volumen del aprendizaje basado en la consecución de resultados y el correspondiente trabajo realizado.

Los créditos permiten una mayor flexibilidad dentro de los sistemas educativos y establecen vínculos entre distintas formas y tipos de educación. La contribución de los créditos es su posibilidad de ofrecer una dimensión adicional y un valor añadido que mejore aún más la movilidad (de alumnos, personal y programas de aprendizaje), el reconocimiento y la transparencia.

El Espacio Europeo de Educación Superior adoptó como sistema de acumulación créditos el ECTS, el cual facilita tanto la movilidad internacional del alumnado como el desarrollo de planes de estudio a nivel internacional. Según el RD 1125/2003: “Los créditos ECTS representan el volumen de trabajo del estudiante para conseguir los objetivos del programa de estudios, objetivos que deben ser especificados preferiblemente en términos de resultados del aprendizaje y de competencias que han de ser adquiridas” [141].

El ECTS se basa en que 60 créditos miden la carga de trabajo de un estudiante a tiempo completo durante un curso académico. La carga de trabajo se refiere al tiempo teórico en que un estudiante medio obtiene los resultados del aprendizaje requeridos. La carga de trabajo del estudiante en el ECTS incluye el tiempo invertido en asistencia a clases, seminarios, estudio independiente, preparación, realización de exámenes, etc. En Europa un crédito representa de 25 a 30 horas de trabajo.

Como se comentó previamente, el crédito es también una forma de cuantificar los resultados del aprendizaje. Estos resultados son conjuntos de competencias que expresan lo que el estudiante sabrá, comprenderá o será capaz de hacer tras completar un proceso de aprendizaje, corto o largo. En el ECTS, los créditos sólo pueden obtenerse una vez que se ha completado el trabajo requerido y se ha realizado la evaluación adecuada de los resultados del aprendizaje.

2.4.1 Experiencias en la implementación de los créditos ECTS

La implementación del EEES y de los créditos ECTS fue fijado para el año 2010 y la inmensa mayoría de las universidades han realizado el cambio hacia este nuevo sistema. A lo largo de estos años se han realizado varios estudios sobre el tema y las experiencias de los profesores en las modificaciones de las asignaturas [6, 10, 60, 75, 156, 188].

J. de Pablos presenta algunos aspectos referidos a la renovación de las metodologías educativas que propone el EEES y analiza el papel que puede jugar en esa renovación la utilización de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) [50].

Los autores Lacuesta y Palacios [119] discuten los resultados obtenidos en la estimación de la carga del estudiante (créditos ECTS) para el primer curso del grado en Ingeniería Eléctrica y Electrónica. Además ponen en práctica las metodologías propuestas por el EEES para la adquisición de competencias genéricas y específicas y habilidades del grado.

José Luis Bernal Agudo [22], brinda pautas para diseñar una asignatura en el nuevo marco del Espacio Europeo de Educación Superior desde las competencias y desde los créditos ECTS, de tal modo que un profesor universitario sea capaz con estas orientaciones de diseñar una asignatura sin mayores problemas.

Burgos y Olías de la Universidad Carlos III de Madrid presenta la organización de las enseñanzas del Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática en esta universidad desde el punto de vista docente y de gestión [29]. En este estudio los autores presentan los resultados obtenidos del primer año de impartición de la titulación de Grado.

Profesores de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de la Universidad Politécnica de Madrid establecen una metodología para la coordinación horizontal y vertical de contenidos que permite detectar huecos formativos y duplicidades en los temarios de las asignaturas de esta escuela. El trabajo presenta los resultados de un proyecto de innovación educativa que además permitió la evaluación en ECTS de las asignaturas. Las conclusiones obtenidas durante el desarrollo del proyecto contribuyeron de manera

significativa al diseño de los nuevos Planes de Estudio a impartir en la Escuela [137].

Un sistema de actividades ejecutadas por la Universidad Pública de Navarra son descritas en [125]. Se relacionan diversas iniciativas dirigidas a mejorar el reclutamiento de ingenieros jóvenes en un contexto de desinterés por la ingeniería y de cambios educativos que enfrenta Europa.

Rafael Guirado et al., de la Universidad de Almería presentan los resultados obtenidos en una experiencia piloto de implantación del crédito europeo en el segundo curso de la Ingeniería Técnica en Informática de Gestión y en el primer curso de la Ingeniería Técnica Industrial en Mecánica [90]. En este trabajo se presentan algunos de los materiales didácticos en soporte informático desarrollados.

Los autores García-García et al., presentan una comparación entre como los profesores de ingeniería de Italia y España han asumido las transformaciones hacia el EEES [80]. Se muestra encuestas que relacionan los trabajos realizados para medir la carga del estudiante y modificar asignaturas sobre la base de los créditos ECTS.

En otros trabajos, se han desarrollado distintos software que permiten calcular, supervisar o controlar la carga de trabajo del estudiante.

La herramienta llamada "*Helo Gadget*" permite medir la carga del estudiante recolectando datos sobre ellos. De forma periódica los alumnos son encuestados sobre qué están haciendo y la respuesta es almacenada en una base de datos. Estas estadísticas pueden ser usadas para mejorar el rendimiento de los estudiantes y calcular los créditos necesarios del curso. Además, la herramienta permite a los profesores supervisar las actividades de sus propios estudiantes y ver las estadísticas de los cursos y de los estudiantes diariamente [64].

Los autores Méndez y González presentan una interesante investigación en la que proponen técnicas de lógica difusa para regular la carga de trabajo para cada estudiante, según su actividad y funcionamiento [138]. Para ello se ha diseñado un regulador difuso que se encarga de regular la participación de cada estudiante según un objetivo deseado. Para el curso descrito en este trabajo, el valor deseado de la participación fue fijado a 4 horas por semana. Para alcanzar esta meta se ha desarrollado un mecanismo de control que

supervisa la actividad de cada estudiante y reacciona cambiando las asignaciones de carga.

2.5 La evaluación continua en asignaturas de ingeniería del EEES

Las asignaturas en las titulaciones diseñadas para el EEES deben contar con un conjunto de actividades y pruebas de evaluación continua. Uno de los elementos fundamentales para el aprendizaje de los alumnos es que reciban información sobre su progreso, sus deficiencias, orientaciones para la mejora, etc. a través del desarrollo de las distintas actividades propuestas. El aprendizaje activo incluye tanto las contribuciones y reflexiones de los estudiantes en su experiencia de la enseñanza de la ingeniería, como la autoevaluación de su aprendizaje. Por lo tanto, la autoevaluación es fundamental en la formación y la educación [169].

Falchikov [69] plantea que la autoevaluación se entiende como una forma para que los estudiantes comiencen a implicarse en la valoración de su propio desarrollo y aprendizaje. Además permite introducir a los alumnos el concepto del juicio individual implicándolos en el diálogo con el profesorado y sus iguales. La autoevaluación también posibilita implicar a los estudiantes en la reflexión individual sobre lo que constituye un buen trabajo. El autor plantea que estas actividades permiten que los estudiantes piensen sobre lo que han aprendido, identificando las lagunas y las formas en que pueden cubrirse y dar los pasos necesarios para remediarlo.

La autoevaluación tiene una gran influencia especialmente cuando forma parte de la evaluación formal, con influencia en la nota final de la asignatura [27]. Para mejorar el aprendizaje, es útil repetir algunas de las tareas de evaluación durante el curso. Sin embargo, este proceso puede consumir mucho tiempo del profesor para corregir, analizar y proporcionar información oportuna a los estudiantes [43]. La e-evaluación ha permitido disminuir estas limitaciones.

Tomando como base el concepto de e-evaluación expresado por el Comité de Sistemas de Información Conjunto (*Joint Information Systems Committee*, JISC) [115], se entiende la e-autoevaluación como cualquier proceso electrónico de autoevaluación en el que son utilizadas las TICs para la presentación y realización de actividades y tareas de autoevaluación y el registro de las respuestas, ya sea desde la perspectiva de los estudiantes, los

profesores, las instituciones o el público en general. Muchos estudios se han centrado en el uso de la e-evaluación durante el proceso de enseñanza y aprendizaje [139, 153, 155, 170].

David Úbeda et al., de la Universidad Miguel Hernández desarrollaron un módulo de Moodle que permite detectar el plagio en el código fuente C/C++ de las prácticas después de que han sido enviados a esta plataforma. Este módulo devuelve al profesor una estadística completa sobre el número de copias detectadas, partes similares del código, aumento o disminución de las copias de acuerdo a las prácticas antiguas, etc. El sistema es capaz de guardar el código fuente de las prácticas de los últimos años que se comparan con los nuevos, a fin de encontrar algunas similitudes [198].

Otros autores admiten nuevos tipos de evaluación en un contexto de aprendizaje electrónico que preserven la interoperabilidad, la reutilización, la eficiencia y la modelización abstracta. En [28, 98], se propone el lenguaje unificado de modelado (UML) como un modelo conceptual para la evaluación que admite los métodos nuevos y los tradicionales.

Una variante de e-evaluación lo constituye la evaluación vía web. La autoevaluación asistida por web ofrece la posibilidad de proporcionar información de calidad y oportuna de manera que sea manejable por el profesor. Este tipo de evaluación también asegura la uniformidad y precisión en el proceso de corrección. Por otra parte, se reduce el riesgo de fraude, las pruebas pueden ser reutilizados cada año y permite que los estudiantes realicen sus exámenes en diferentes momentos y lugares [76]. Existen varios sistemas de gestión de aprendizaje (*Learning Management System*, LMS). WebCT, Atutor, Claroline y Moodle son algunos de los más utilizados. En esta tesis se hace referencia a AulaWeb que es una herramienta de tele-enseñanza (*e-learning*) de apoyo para la impartición de cursos presenciales, a distancia o mixtos. Esta herramienta software ha sido desarrollada por la División de Informática Industrial de la Universidad Politécnica de Madrid.

En [152], los autores destacan que AulaWeb ha conseguido que los estudiantes cambien su filosofía de estudio. AulaWeb es una buena herramienta para la formación y la enseñanza si los estudiantes hacen un uso adecuado de ella. Por lo tanto, el objetivo fundamental de la herramienta AulaWeb es animar a los

estudiantes a participar activamente en su aprendizaje a la vez que mejora sus habilidades al completar los ejercicios teóricos relacionados con cada tema.

2.6 Aprendizaje basado en proyectos en asignaturas de ingeniería del EEES

Como se ha visto la implantación del Sistema Europeo de Transferencia y Acumulación de Créditos (ECTS) admite un nuevo modelo educativo que ha de orientar las programaciones y metodologías docentes centrándolas en el aprendizaje de los alumnos, y no exclusivamente en las horas lectivas. El Aprendizaje Basado en Proyectos (*Project Based Learning*, PBL), es una metodología didáctica en la que el alumno aprende los conceptos de la asignatura mediante la realización de un proyecto o resolución de un problema adecuadamente diseñado y formulado por el profesor.

El PBL nace en la década de los 60 en la Universidad de McMaster (Canadá) para combatir la desmotivación de los alumnos de medicina, y es un método bastante extendido en el mundo anglosajón. Este aprendizaje está fuertemente orientado a relacionar los conceptos aprendidos en clase con su aplicación en la futura vida profesional de los alumnos. El aprendizaje basado en proyectos es visto por muchos como sinónimo de aprendizaje basado en problemas debido a que ambos tienen su enfoque centrado en el aprendizaje del alumno [183]. Sin embargo existen varias diferencias.

En el aprendizaje basado en proyectos los alumnos deben producir un resultado en forma de informe o de diseño. El profesor supervisa (en lugar de facilitar) el proyecto. En el aprendizaje basado en problemas, el centro no está en este tipo de resultado. Los estudiantes están obligados a presentar una solución o estrategia para resolver el problema planteado en el aprendizaje basado en proyectos, mientras que en el aprendizaje basado en problemas, la solución del problema puede ser parte del proceso, pero la atención se centra en la gestión del problema, no en una solución clara y acotada.

En el aprendizaje basado en proyectos se produce una participación por parte del profesor, en forma de algún tipo de enseñanza, durante la vida útil del proyecto. Por su parte, en el aprendizaje basado en problemas los alumnos elaboran su aprendizaje de acuerdo a sus propias necesidades. Algunos programas de aprendizaje basado en problemas utilizan conferencias como medio para apoyar a los estudiantes en lugar de dirigir el aprendizaje. El

aprendizaje basado en proyectos a menudo se produce hacia el final de un programa de grado después que los estudiantes tienen cubiertos los conocimientos necesarios para llevarlo a cabo. El aprendizaje basado en problemas se utiliza normalmente sobre la base de que los estudiantes ya han cubierto el conocimiento y son los propios alumnos los que deciden qué es lo que necesitan para aprender. Por lo tanto, el aprendizaje basado en proyectos se plantea con mayor frecuencia como técnica de enseñanza en un área determinada del plan de estudios en lugar de una estrategia global de educación como es el aprendizaje basado en problemas [183].

Como conclusión la metodología de aprendizaje basado en proyectos (PBL) es una pedagogía constructivista que busca el aprendizaje en un tema. La búsqueda de información para encontrar soluciones a un proyecto propuesto permite que se asimilen los conceptos previamente explicados. Es importante que los problemas sean cercanos a la realidad para que resulten motivadores. Este enfoque hace que los alumnos se involucren en la resolución de los problemas, la toma de decisiones e investiguen posibles soluciones de forma que encuentren soluciones propias a los problemas propuestos. Desde el punto de vista didáctico aporta la ventaja de que promueve la creatividad en la búsqueda de soluciones a la vez que muestra que puede haber varias formas de resolver los problemas reales. Por otra parte, la labor del profesor consiste en plantear los problemas y proponer a los alumnos posibles alternativas para que sean ellos quienes las evalúen y busquen soluciones parciales que les permitan desarrollar el proyecto [30].

Existen varios estudios que usan PBL en la enseñanza de las ingenierías [11, 49, 52, 140]. Específicamente en cursos de Electrónica [130, 135], Circuitos Integrados [14], Ingeniería de Sistemas [114], Ingeniería Eléctrica [102], Mecatrónica, Robótica y Sistemas de Control [95, 116, 138, 187].

Un ejemplo interesante es la iniciativa “Concebir Diseñar Implementar Operar” (*Conceive Design Implement Operate*, CDIO). La iniciativa CDIO se inició en el 2000, y desde el principio se compuso de tres universidades de Suecia (la Universidad Linköping, la Universidad Tecnológica de Chalmers, y el Instituto Real de Tecnología) y una universidad de los EE.UU. (el Instituto Tecnológico de Massachusetts, MIT). Como ejemplo de aplicación de esta metodología se desarrolló un proyecto de control automático por los alumnos del cuarto año de

las titulaciones de Física Aplicada e Ingeniería Eléctrica de la Universidad Linköping de Suecia [63].

2.7 Importancia del uso de las prácticas de laboratorio para la enseñanza de la ingeniería

Richard Bellman citó: *“Theory without application is like the smile of the Cheshire cat; application without theory is a blindman’s bluff”* (La teoría sin aplicación es como la sonrisa del gato de Cheshire, la aplicación sin teoría es un farol ciego) [20].

En la enseñanza de la ingeniería, las prácticas de laboratorio tienen una gran importancia pues van más allá del aprendizaje de conceptos y permiten integrar teoría y práctica en un mismo nivel, logrando que el estudiante aprenda *haciendo* (mientras diseña, prueba, ensaya, practica, etc.).

Varios estudios de psicología cognitiva demuestran que las personas adquieren mejor el conocimiento haciendo cosas y reflexionando sobre las consecuencias de sus acciones que mirando o escuchando a alguien que les cuenta lo que deben aprender [57].

La práctica de laboratorio es el espacio de aprendizaje donde el estudiante desarrolla y adquiere destrezas prácticas que le permiten establecer criterios de ingeniería, comprobar - y en muchos casos entender - los conceptos teóricos y, sobre todo, establecer relaciones con otros conocimientos previos que ya posee.

El ABET hace referencia a la importancia de los laboratorios en instituciones de educación superior señalando como requisitos del laboratorio: la realización de un trabajo “apropiado” en todos los planes de estudios, así como combinar elementos teóricos y prácticos [2].

Los laboratorios, a partir de una situación problemática y siempre con una supervisión, pueden servir para que el alumno experimente, visualice y obtenga respuestas a sus inquietudes. De igual forma estas actividades deben generar en los estudiantes actitudes de investigación.

Por lo tanto, los laboratorios realizan distintas acciones y cumplen con diferentes objetivos como: la práctica, comprobación, validación, verificación, generación, construcción, aplicación e integración. Además, los laboratorios

permiten fomentar el trabajo en equipo, la interdisciplinariedad, promover la participación, la innovación, generar disciplina y orden, valores éticos y sociales y desarrollar competencias.

Todo esto explica las grandes expectativas que los estudiantes tienen por las actividades de laboratorio [122].

El uso de laboratorios en la enseñanza de asignaturas de control automático constituye una parte esencial en la preparación de los estudiantes como fue abordado en el Taller sobre Nuevas direcciones en la Educación de la Ingeniería del Control (*NSF/CSS Workshop on New Directions in Control Engineering Education*) [8].

Torres et al., de la Universidad de Alicante valoran la importancia que presentan los laboratorios reales en la enseñanza de la robótica. No obstante coinciden que los equipos necesarios son costosos y pueden ser vulnerables a ser dañados por operaciones incorrectas de los alumnos [195].

Rodriguez et al. de la Universidad Carlos III de Madrid presentan una contribución en innovación educativa para sistemas autónomos y teleoperados con el objetivo de crear una herramienta educativa que permite a los estudiantes llevar a cabo experimentos remotos en sistemas mecatrónicos [163].

El Simposio de la Federación Internacional de Control Automático (*International Federation of Automatic Control, IFAC*) sobre Avances en la Educación del Control (ACE), patrocinado por el Comité Técnico en la Educación del Control (EDCOM), se viene celebrando cada tres años desde 1988. Desde el principio, este simposio ha sido un lugar que ha proporcionado un foro internacional abierto para la discusión de los últimos acontecimientos en la educación del control, así como el intercambio de información sobre nuevas ideas en los avances del control dentro de los planes de estudio, material didáctico, incluido el software, y la innovación en experimentos de laboratorio, la educación continua y el entrenamiento [57].

En las sesiones de trabajo de los Congresos del IFAC varios autores han planteado el alto valor formativo que presentan los laboratorios en la enseñanza del control. Astrom planteó la importancia que tiene el uso de los laboratorios para lograr una correcta apreciación de la ingeniería del control [12]. Juing-Huei et al., presentan un laboratorio para los cursos introductorios de control

automático que se ofrece a los estudiantes de tercer o cuarto año del Departamento de Ingeniería Electrónica en la Universidad de Ciencia y Tecnología de Lunghwa. El objetivo de las prácticas en laboratorio es contribuir al fortalecimiento del proceso de aprendizaje de los estudiantes en los cursos introductorios de control automático, desde un punto de vista práctico [191].

Las herramientas interactivas usadas en los laboratorios constituyen una variante muy útil para la enseñanza y la comprensión de conceptos importantes de la ingeniería del control. Guzmán et al., describen una herramienta interactiva centrada en la enseñanza y el aprendizaje de conceptos básicos sobre el modelado y la identificación [92]. Estos autores, en otro artículo, describen tres módulos interactivos de aprendizaje que están diseñados para desarrollar la intuición, así como un conocimiento práctico de las acciones de control proporcional-integral-derivativa (PID). Estos tres módulos permiten ilustrar conceptos tales como el ajuste, la robustez, y *antiwindup* [91]. Otra herramienta interactiva desarrollada por estos autores está orientada a nociones básicas y avanzadas de control anticipativo [94]. Reinoso et al., presentan una herramienta interactiva que posibilita el estudio de robots paralelos. A través de esta herramienta el alumno puede analizar tanto la cinemática directa como inversa de un conjunto de estructuras clásicas de robots paralelos [160]. Castejón, Blanco y Moreno presentan una aplicación basada en MATLAB para facilitar el aprendizaje de los conceptos de visión estéreo a alumnos de Ingeniería [40]. Aliane presenta un módulo interactivo para el aprendizaje de los problemas fundamentales y prácticos de los servosistemas. Este módulo es utilizado para complementar las conferencias de ingeniería de control y las asignaturas de robótica [4]. Estas herramientas interactivas aumentan su efectividad si se combinan con el trabajo colaborativo de aprendizaje. En este sentido Candelas y Torres presentan el sistema de docencia interactiva llamado CI@seweb [35].

Una experiencia única e innovadora de la enseñanza de la ingeniería en la Universidad Politécnica de Madrid lo constituye el concurso de robótica Cybertech [81, 101]. Tras más de 10 años de organización CyberTech es un concurso de robótica muy conocido en España por las corridas de toros mediante Robotaurus. CyberTech incluye también actividades académicas, lecciones prácticas de laboratorio, seminarios, tutorías, y un espectacular concurso en el que los robots desarrollados por los estudiantes compiten entre

sí. Es una actividad abierta, para todos los alumnos y requiere del conocimiento de diversos temas como la mecánica, microcontroladores, control y la electrónica. La experiencia adquirida ha puesto de manifiesto cómo este enfoque educativo novel puede aumentar la motivación de los estudiantes. La realización de este proyecto les permite aprender de forma efectiva no sólo un tema en particular, sino también habilidades de trabajo en equipo, presentaciones orales, la gestión del presupuesto, etc.

Las Jornadas de Automática han incluido dentro de sus áreas de actuación el de la educación en automática. A través de las distintas ediciones, varias conferencias y trabajos han tratado sobre el tema del uso de los laboratorios y su importancia. En las pasadas XXXII Jornadas de Automática, Sevilla 2011, se desarrolló en el grupo temático Educación en Automática coordinado por el profesor Oscar Reinoso de la Universidad Miguel Hernández, la conferencia “Enseñanzas de la Enseñanza de la Automática”, impartida por el profesor Luis Basañez Villaluenga, en la que expuso la experiencia a lo largo de su trayectoria acerca de la enseñanza de los contenidos de la Automática. En esta presentación el profesor dejó claro la importancia que reviste para la enseñanza del control las actividades de laboratorio. De igual forma en este mismo evento el profesor Sebastián Dormido dictó la conferencia plenaria “Educación en Automática. Análisis, retos y opciones” en la que reitera la importancia que tienen las actividades prácticas en la educación de la automática.

CAPÍTULO 3 LABORATORIOS VIRTUALES Y REMOTOS. SOFTWARE MÁS COMUNMENTE UTILIZADOS

En el marco de esta tesis, el Departamento de Automática y Sistemas Computacionales de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas en Cuba, en colaboración con el Departamento de Automática, Ingeniería Electrónica e Informática Industrial de la Universidad Politécnica de Madrid, desarrolló un laboratorio remoto llamado Sistema de Laboratorios a Distancia (SLD).

Para el diseño e implementación del Sistema de Laboratorios a Distancia (SLD) se hizo un estudio detallado de una amplia muestra de laboratorios virtuales y remotos, y se definieron las principales partes que las componen: interacción de la plataforma con el usuario, gestión de los pedidos de prácticas y procesamiento de las prácticas.

Sobre la base de este estudio se desarrolló la plataforma Sistema de Laboratorios a Distancia que, aunque toma elementos de las revisadas, incluye aspectos novedosos como disponer de múltiples estaciones en las cuales se puede ejecutar las mismas prácticas. De esta forma se puede lograr un mayor paralelismo y, por ende, mayor velocidad de respuesta ante accesos simultáneos. Además permite la ejecución de experimentos con cambio de estrategia de control brindando amplias posibilidades para el desarrollo de actividades prácticas docentes y de investigación.

3.1 Definición de laboratorios virtuales y remotos

Como se ha visto en el capítulo anterior, el uso de laboratorios en la enseñanza de asignaturas de control automático constituye una actividad relevante en la preparación de los estudiantes. Sin embargo, los recursos utilizados en los

mismos son costosos, así como el número de estudiantes suele ser elevado en la mayoría de los casos.

Los objetivos formativos de las actividades de laboratorio no deben depender del tipo de laboratorio que se utilice, convencional o remoto, sino que deben ser planteados para proporcionar una formación efectiva de los alumnos [47].

Según Antsaklis, en el sumario el Taller sobre Nuevas direcciones en la Educación de la Ingeniería del Control, Internet representa la mayor oportunidad para la educación del control. Internet puede ser usada tanto para la distribución del material instructivo como para el desarrollo de laboratorios, donde los estudiantes pueden obtener experiencia a través de las prácticas de laboratorio remotas [8]. Por todo lo planteado anteriormente, es muy común en las universidades el uso de laboratorios virtuales y remotos en la enseñanza del control automático.

Son varias las definiciones sobre los tipos de laboratorio. Una de las más amplias y acertadas es la presentada por Dormido [57] que basa su clasificación dos criterios: la forma de acceder a los recursos sobre los que se experimenta y la naturaleza del sistema sobre el que se opera. Atendiendo al primer criterio, se puede distinguir entre acceso remoto a través de una red y acceso local, es decir, que no implica la utilización de una conexión a Internet para poder operar con los componentes. En lo referente a la naturaleza del recurso, estaría entre los modelos simulados o trabajar con plantas reales. De la combinación de estos criterios se obtienen cuatro clases de entornos muy diferentes, pero que abarcan todas las formas de experimentación posibles (Tabla 3.1).

		Naturaleza del recurso	
		Real	Simulado
Acceso al Recurso	Local	Laboratorio tradicional	Laboratorio virtual monousuario
	Remoto	Telelaboratorio o laboratorio remoto	Laboratorio virtual multiusuario

Tabla 3.1 Clasificación de los entornos experimentales.

El acceso local a un recurso real representa el laboratorio de prácticas tradicional, en el que el alumno se sitúa frente a un sistema real para proceder

a la realización de la práctica correspondiente. Este sistema puede o no estar conectado a un ordenador.

En el acceso local a un recurso simulado el entorno de trabajo es un software. La interfaz de experimentación opera sobre un sistema que reside en el mismo ordenador. Este tipo de sistemas es utilizado por un solo alumno a la vez.

El acceso remoto a un recurso real constituye el acceso al equipamiento de un laboratorio real a través de una red, generalmente Internet. El usuario opera y controla de forma remota sistemas reales mediante una interfaz de experimentación que se ejecuta en un ordenador conectado a una red. El sistema real puede o no estar conectado a un ordenador, aunque lo común es que lo esté. Este enfoque es lo que se denomina telelaboratorio, laboratorio remoto o teleoperación a través de la web.

El acceso remoto a un recurso simulado es similar a la variante anterior en cuanto al acceso pero el sistema real se sustituye por un modelo, por lo que el estudiante trabaja con su interfaz de experimentación sobre un sistema virtual accesible a través de Internet. Presenta como diferencia que pueden trabajar múltiples usuarios simultáneamente sobre el mismo sistema virtual.

3.2 Estudio de laboratorios virtuales y remotos afines a la Ingeniería del Control Automático

En la literatura se destacan varios estudios sobre el uso de los laboratorios virtuales y remotos en la educación [1, 18, 42, 68, 77, 88, 133, 186, 207, 208, 210]. Nickerson et al., hacen un estudio sobre la efectividad del uso de laboratorios virtuales y remotos en la educación y sugieren su introducción de una forma gradual en los estudiantes [144]. Por su parte, los profesores Gokhan Gercek y Naveed Saleem de la Universidad de Houston, plantean la necesidad de cambiar los laboratorios tradicionales por laboratorios virtuales [84]. Además, Candelas et al., evalúan el impacto del uso de un laboratorio remoto en la docencia, destacándose la aceptación del mismo por los estudiantes [36].

Rodríguez-Andina et al., plantean que los laboratorios remotos pueden proporcionar acceso remoto a los experimentos con menos restricciones en tiempo y espacio, proporcionando la orientación necesaria y garantizando un

funcionamiento seguro tanto para el equipo como para el personal a cargo [162].

Callaghan et al., consideran que para los cursos a distancia de ingeniería, el acceso remoto constituye el único método realista de llevar a cabo muchos experimentos. Expresan que se debe permitir el acceso remoto a los estudiantes, y no debe estar limitada la conexión por tiempo o por consideraciones geográficas, para completar las tareas de laboratorio. Por lo que los autores concluyen que las prácticas remotas permiten facilitar el desarrollo de habilidades en el uso de los sistemas reales y la instrumentación [32].

Los laboratorios remotos se encuentran en evolución constante y no se restringen a una sola temática, aunque los de Automática y Robótica son los más utilizados. En trabajos sobre este tema los autores hacen una valoración de cuáles son las características que deben tener los laboratorios remotos futuros, haciendo especial hincapié en la reutilización, la interoperabilidad y la integración con herramientas de aprendizaje colaborativo [33, 86, 89, 129].

Otra tendencia actual es el uso de la computación *grid*², el cual es un sistema de computación distribuido. Estos sistemas permiten compartir recursos no centrados geográficamente para resolver problemas de gran escala, en este caso los recursos serían los laboratorios virtuales y remotos. La aplicación de esta técnica admite la creación de redes de laboratorios [185].

El proyecto Aprendizaje a Distancia de Prácticas de Educación Interactivas (*E-learning Distance Interactive Practical Education, EDIPE*), financiado por la Unión Europea, tenía como objetivo la creación de más de 18 laboratorios en varias universidades europeas permitiendo el acceso vía Internet a estudiantes autorizados [97, 192, 209]. Aunque los experimentos están localizados físicamente en diferentes universidades europeas son accesibles mediante una sola vía, el Sistema de Gestión de Cursos PEMCWebLab [19].

Otro ejemplo de creación de redes de laboratorios virtuales y remotos para la enseñanza de la automática es el proyecto AutomatL@bs coordinado por el Profesor Sebastián Dormido, en el que se encuentran colaborando varias

²La computación grid es una tecnología que permite utilizar de forma coordinada todo tipo de recursos (sistemas de cómputo, almacenamiento y aplicaciones específicas) que no están sujetos a un control centralizado.

universidades españolas [48, 58, 93, 203, 204]. AutomatL@bs es una red de laboratorios virtuales/remotos para la enseñanza de la automática formada por la integración de los recursos que aportan los grupos que participan en el proyecto. Proporciona un sistema de reserva de tiempos para la realización de los experimentos y un entorno de trabajo común que facilita su aprendizaje por parte del alumno. Para esto AutomatL@bs utiliza eMersion que es un entorno de experimentación basado en web. El sistema eMersion ha sido desarrollado para la gestión y publicación centralizada de laboratorios virtuales y remotos con propósitos educacionales. A través de eMersion es posible obtener toda la documentación necesaria para completar una sesión de experimentación en línea, incluyendo los guiones de práctica, protocolo de tareas, sistema de reservas y el sistema eJournal. El eJournal ofrece un espacio compartido para los alumnos en el cual pueden depositar los “Fragmentos de datos” que se van obteniendo durante una sesión de trabajo.

Recientemente se ha creado el Consorcio Global de Laboratorios en línea (*Global Online Laboratory Consortium, GOLC*) cuyo objetivo fundamental es promover el desarrollo y compartir las investigaciones sobre los laboratorios remotos usados con fines educativos. En tal sentido se trabaja para lograr una arquitectura estándar, unificada e interoperable que comparta los laboratorios remotos a todo el mundo.

El proyecto iLabs, liderado por los profesores del MIT Jesús del Alamo y Steve Lerman, pone a disposición de los estudiantes el acceso a dispositivos reales de forma remota a través de la web. iLabs comenzó con el WebLab de microelectrónica, donde los estudiantes podían probar los dispositivos microelectrónicos frágiles. Este concepto de experimentación en línea se ha extendido a otras disciplinas, creando hasta la fecha siete laboratorios en línea del MIT, entre los que se incluye un reactor químico [51], estructuras mecánicas, un intercambiador de calor, etc. El laboratorio de microelectrónica es usado por estudiantes de China y África para realizar experimentos con transistores [96].

El proyecto Labshare, financiado por el Departamento de Educación de la Universidad Curtin en Australia, tiene como objetivo principal desarrollar tanto la infraestructura técnica y como una estrategia de apoyo al intercambio permanente de las instalaciones de laboratorio y recursos remotos. Labshare trata de establecer una comunidad compartida de laboratorios de control

remoto y fomentar el desarrollo de laboratorios de alta calidad y rentables para la educación [9, 127, 128, 142].

Son varios los ejemplos de laboratorios virtuales y remotos que se muestran en la actualidad. El grupo de educación en Automática del Comité Español de Automática (CEA-IFAC) ha desarrollado una página web en la que se recopilan los recursos actuales en el área de los laboratorios virtuales y/o remotos, además de mostrar las clasificaciones de los mismos [34].

El WebLab-DEUSTO es un laboratorio remoto diseñado e implementado por la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Deusto. Desde el punto de vista tecnológico el laboratorio ha sido implementado en su última versión como un Web Services³ (servicio web) usando SOAP⁴, AJAX⁵ y Python⁶ [82].

El Ciclope Robot es un laboratorio remoto que tiene como objetivo enseñar cómo realizar la programación de sistemas de tiempo real embebidos en equipos reales, tales como un robot. Este escenario está compuesto por un laboratorio real situado en la Facultad de Informática de la Universidad Politécnica de Madrid y por un cliente web. En la interfaz del cliente se utiliza el lenguaje HTML, JavaScript y applets⁷ de Java. En el servidor web se utiliza Apache, PHP, MySQL y software programado en C++ para la comunicación con el robot [126].

El Automatic Control Telelab (ACT) es un laboratorio que permite realizar experimentos remotos sobre diferentes plantas (motor CC, levitador magnético, helicóptero, robot LEGO, tanques). El sistema admite que se realicen tanto prácticas con controladores predefinidos como con controladores definidos por el usuario, tema este de gran interés en las investigaciones [38, 39]. En la Figura 3.1 se muestra la arquitectura del ACT.

³ Web service es una pieza de software que utiliza un conjunto de protocolos y estándares que sirven para intercambiar datos entre aplicaciones.

⁴ SOAP (siglas de Simple Object Access Protocol) es un protocolo estándar que define cómo dos objetos en diferentes procesos pueden comunicarse por medio de intercambio de datos XML.

⁵ AJAX, acrónimo de Asynchronous JavaScript And XML, es una técnica de desarrollo Web para crear aplicaciones interactivas.

⁶ Python es un lenguaje de programación de alto nivel cuya filosofía hace hincapié en una sintaxis muy limpia y que favorezca un código legible.

⁷ Applet es un componente de una aplicación que se ejecuta en el contexto de otro programa, por ejemplo un navegador Web.

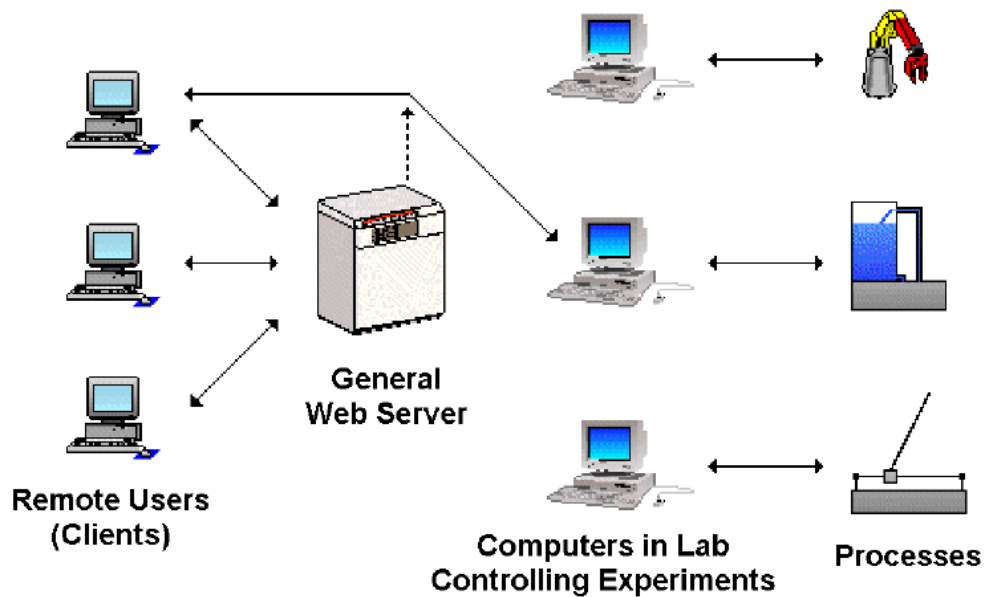


Figura 3.1 Arquitectura del sistema ACT [39]. Laboratorio que permite realizar experimentos remotos sobre diferentes plantas (motor CC, levitador magnético, helicóptero, robot LEGO, tanques).

Este sistema de la Universidad de Siena en Italia se ha ampliado a Robotics & Automatic Control Telalab (RACT) el cual permite, además, ejecutar experimentos con un robot manipulador [37].

Khamis desarrolla una arquitectura software para un laboratorio remoto en el campo de la robótica móvil. La arquitectura diseñada facilita la interacción remota con robots móviles utilizando varios dispositivos de interacción. El trabajo se enmarcó en un proyecto para desarrollar una red de laboratorios remotos entre seis universidades en Europa y EE.UU [117]. Además se realizó un estudio sobre el uso de los dispositivos móviles tales como las PDAs y los teléfonos móviles como elementos de interacción con el robot.

Una metodología para construir laboratorios remotos es presentada por Calvo et al. [31]. En dicho trabajo se presenta un enfoque basado en tecnologías estándar (WWW, lenguaje Java, tecnologías orientadas a objetos distribuidas, etc.) con la intención de proporcionar un marco genérico que se adapte a un gran número de situaciones. Esta metodología proporciona una arquitectura de referencia, mostrada en la Figura 3.2, así como pautas a seguir para completar los diferentes componentes involucrados en los laboratorios remotos (Servidor de Aplicaciones, Aplicaciones Remotas, etc.).

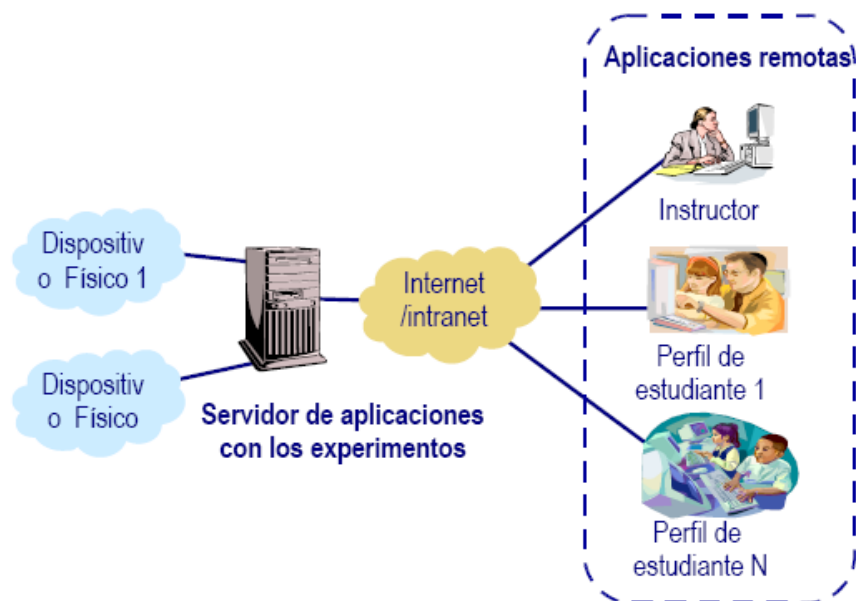


Figura 3.2 Arquitectura de referencia para la construcción de laboratorios remotos presentada por Calvo et al. [31].

El sistema *LABNET: Laboratorio remoto para control de procesos* es un laboratorio remoto que permite la realización de experimentos sobre las maquetas de laboratorio a través de internet. La arquitectura de LABNET sigue el modelo de cliente-servidor tal y como se muestra en la Figura 3.3.

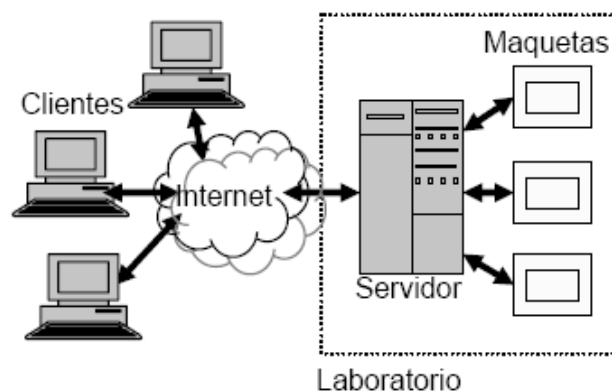


Figura 3.3 Arquitectura del sistema LABNET [3]. El laboratorio remoto permite la realización de experimentos sobre las maquetas de laboratorio a través de internet.

El servidor de LABNET es una aplicación que se encarga de la gestión de los usuarios, de las maquetas y de la administración los experimentos. Por otra parte, el cliente de LABNET es la aplicación que permite el acceso remoto al

laboratorio y, a través de su interfaz gráfica, los usuarios pueden ejecutar sus experimentos de forma rápida y transparente. En la Figura 3.4 se muestra el cliente LABNET.

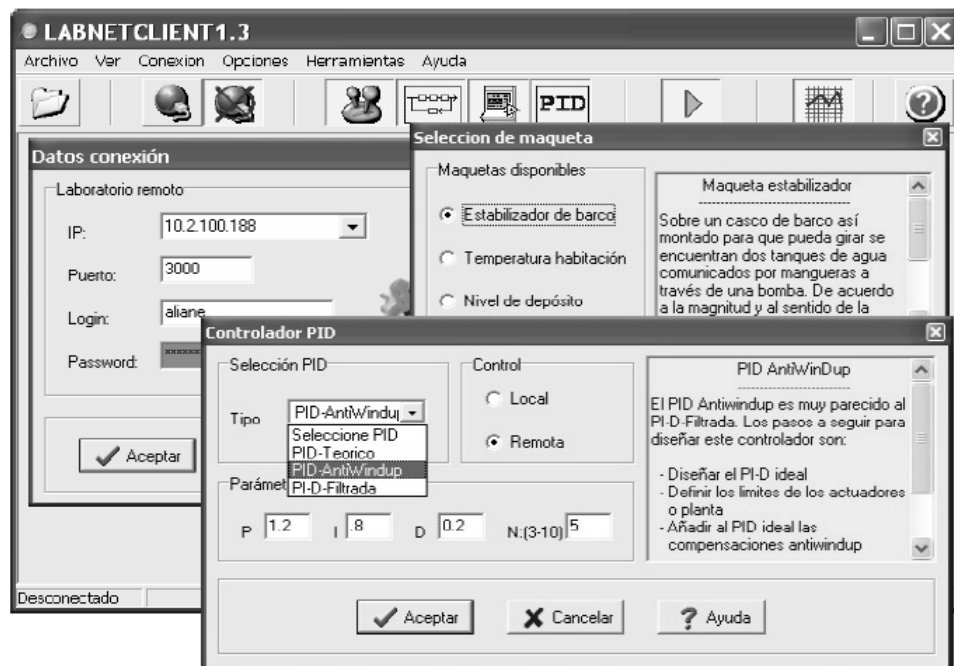


Figura 3.4 Cliente LABNET [3] que permite el acceso remoto al laboratorio a través de su interfaz gráfica.

El entorno de LABNET ofrece la posibilidad de realizar experimentos de control en lazo abierto o en lazo cerrado con controladores predefinidos que se pueden ejecutar de forma local o remota. En el modo local, el controlador está ubicado en el servidor. Por su parte, en la modalidad de control remoto, el controlador se ejecuta en el cliente, por lo que la realimentación se hace a través de la red. Los controladores predefinidos de LABNET son las tres variantes más comunes del controlador PID: el PID teórico, el PID con filtrado de la derivada y el PID con *Anti-Windup* [3-5].

El sistema *RECOLAB: Laboratorio de Prácticas de Control de Procesos vía Internet* está orientado al control a distancia y en tiempo real de un sistema físico a través de Internet. Hace uso de MATLAB/Simulink como plataforma de desarrollo. El mismo permite al alumno, simular primeramente, a través de Internet, el funcionamiento de un regulador dado para un proceso físico determinado, y más tarde ejecutar en tiempo real sobre dicho proceso el regulador ajustado en la simulación. La aplicación devuelve al usuario toda la

información referente a la ejecución realizada, además de gráficas y otros datos de interés [157, 158]. En la Figura 3.5 se muestra la interface de usuario de RECOLAB.

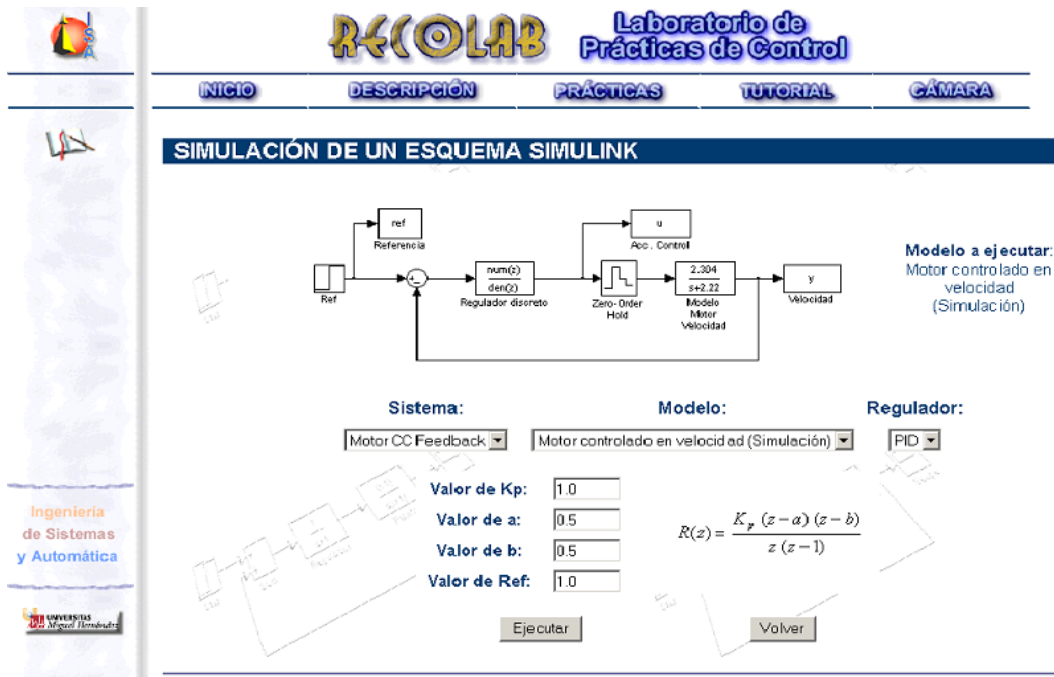


Figura 3.5 Interface de usuario de RECOLAB [158] que permite el control a distancia y en tiempo real de un sistema físico a través de Internet.

En la Figura 3.6 se muestra la arquitectura general de RECOLAB.

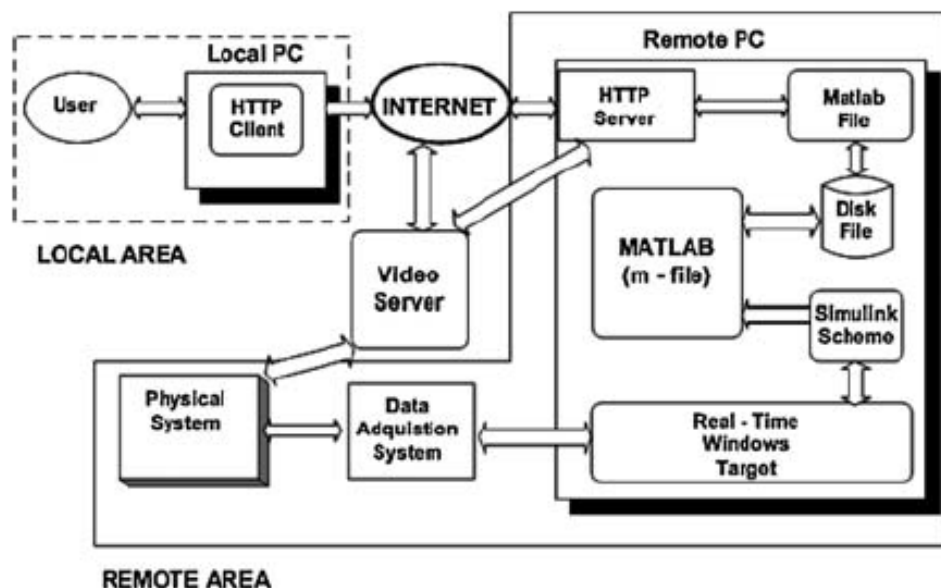


Figura 3.6 Arquitectura de RECOLAB [158]. Se destacan los bloques que conforman esta arquitectura y su interrelación.

La comunicación cliente-servidor se realiza a través del protocolo HTTP (*HyperText Transfer Protocol*, Protocolo de transferencia de hipertexto) mediante un servidor web y el paquete de herramientas *MATLAB Web Server*, el cual permite de forma flexible recopilar datos generados por un núcleo de MATLAB y enviarlos a una página web. En cuanto a la ejecución en tiempo real se utilizan las aplicaciones y paquete de herramientas: MATLAB, Simulink, *Real – Time Workshop* y *Real – Time Windows Target*. Estos dos últimos permiten realizar la ejecución en tiempo real de un esquema Simulink con un determinado sistema de adquisición de datos.

El sistema Laboratorios Virtuales para el Diseño de Sistemas de Control (*Virtual Laboratories for Control Systems Design*, VL-CSD) es un sistema de laboratorios virtuales que provee una solución on-line a los tradicionales laboratorios experimentales. Este producto es comercializado por la Universidad de Newcastle en Australia y se basa en ejemplos de un libro escrito por uno de sus autores y promotor, el profesor Graham Goodwin [88, 208]. En la Figura 3.7 se muestra la interface de la máquina de fundición continua.

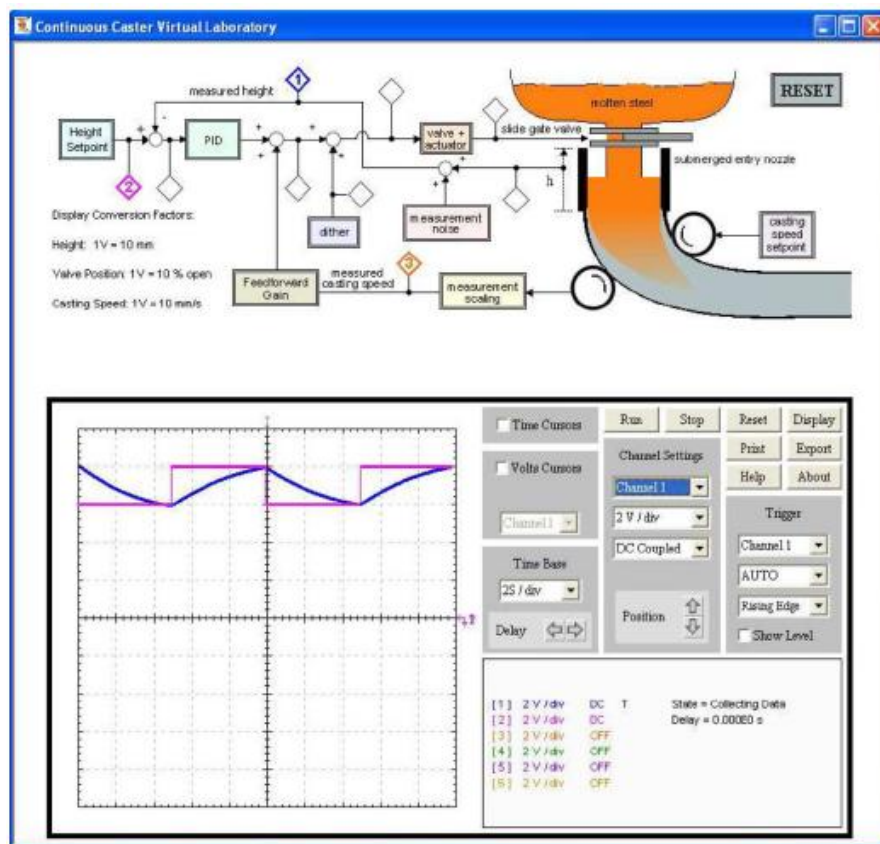


Figura 3.7 Interface del laboratorio virtual sobre una máquina de fundición continua [208] basado en un ejemplo del libro del profesor Graham Goodwin.

La simulación del sistema está basada en applets de Java que permiten en algunos casos realizar interacciones con las distintas simulaciones. Presenta varios casos de estudio disponibles como fundición continua, péndulo invertido, control de nivel en un tanque, columna de destilación, control de pH, etc.

El Laboratorio de Sistemas de Control en Red (*Networked Control System Laboratory, NCSLab*) es un interesante sistema que permite a los usuarios realizar experimentos en dispositivos reales localizados en diferentes lugares. Se propone una arquitectura escalable compuesta por navegadores web, servidor web central, servidores de MATLAB, servidores regionales de experimentos, unidades de control y los dispositivos sobre los que se realizan los experimentos (Figura 3.8).

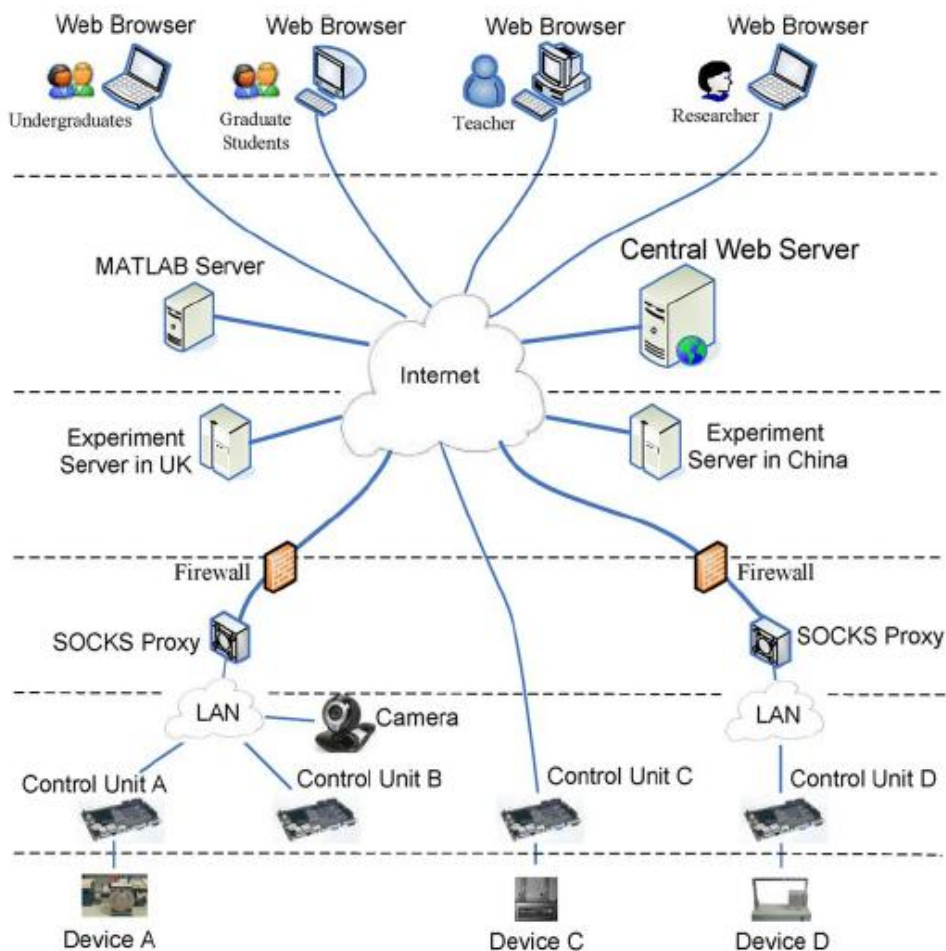


Figura 3.8 Arquitectura del NCSLab [212]. Utiliza una arquitectura escalable compuesta por navegadores, servidores, unidades de control y dispositivos sobre los que se realizan los experimentos.

El NCSLab adoptó MATLAB como sistema de modelado y simulación por la amplia utilización de este software en la industria y en el entorno académico, lo cual permite que los usuarios se familiaricen rápidamente con el sistema. Para evitar las posibles colisiones al acceder al mismo experimento se implementó un mecanismo de reserva. Se definen tres tipos de privilegios: sin privilegio, privilegio de observar y privilegio de control total. Solamente el usuario que gane el privilegio de control total podrá hacer cambios en los experimentos y ejecutarlos. Actualmente presenta dos servidores regionales, uno en China y otro en Reino Unido, incluyendo 12 dispositivos para los experimentos [211, 212].

El Laboratorio Remoto de Mecatrónica (*Remote Laboratory of Mechatronics*) de la Universidad de Maribor en Eslovenia, forma parte del proyecto EDIPE mencionado anteriormente [166-168]. Este laboratorio utiliza para el control de los dispositivos un hardware desarrollado por ellos y dos software comerciales muy conocidos en el área: MATLAB y LabVIEW. MATLAB/Simulink es utilizado para el desarrollo de los algoritmos de control, mientras que LabVIEW es utilizado para la interface de usuario, el control remoto y la comunicación. En la Figura 3.9 se muestra la arquitectura del laboratorio remoto implementado.

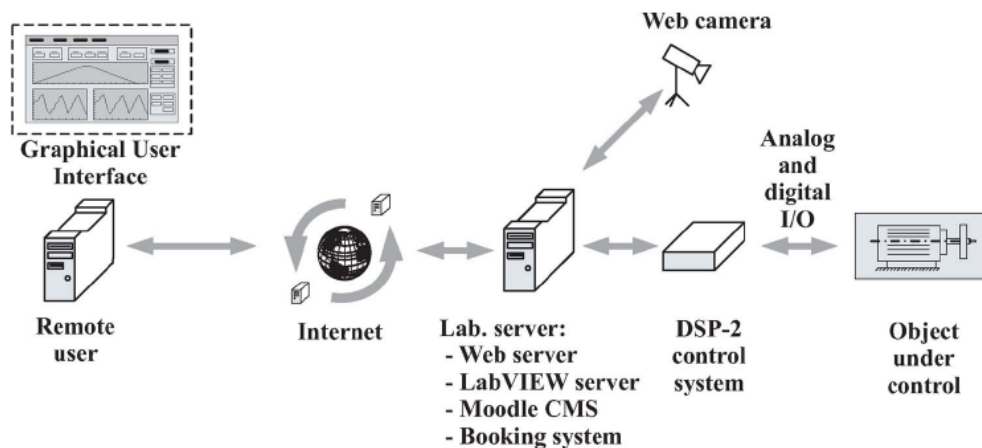


Figura 3.9 Arquitectura del laboratorio remoto implementado en la Universidad de Maribor [168]. Utiliza para el control MATLAB y LabVIEW.

ROBOLAB: Laboratorio Virtual remoto para la enseñanza de robótica, es un laboratorio remoto que permite la simulación de un brazo robot Scorbot ER-IX de Eshed Robotec Ltd, así como la tele-operación del brazo real equivalente por parte de varios estudiantes de forma simultánea (Figura 3.10) [36, 195].

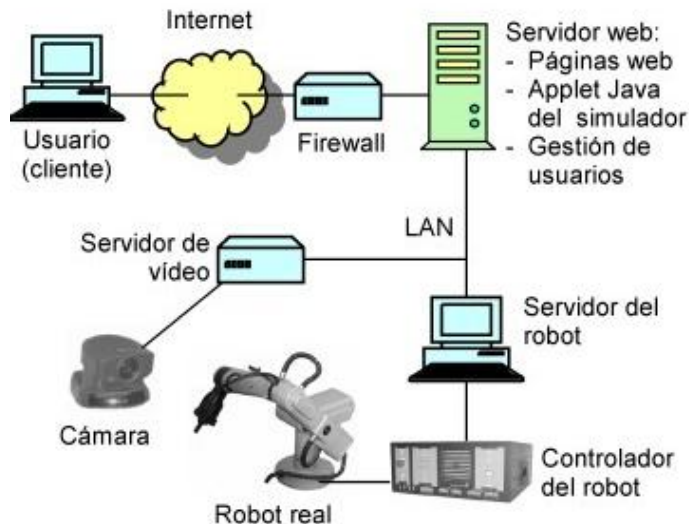


Figura 3.10 Arquitectura del sistema RoboLab (RobUALab) [36] que permite la simulación de un brazo robot.

El alumno puede acceder a todas las funciones del laboratorio a través de una página web con un applet de Java el cual maneja la simulación local del robot. Además posee una ventana VRML⁸ con el estado simulado del mismo, obteniendo la información necesaria de una base de datos, la cual es suministrada por el servidor que atiende al robot.

Este sistema ha estado en evolución desde 1999, y ha pasado por diferentes versiones. La primera versión de RoboLab (RoboLab I) ofrece una interfaz creada con Java y VRML.

Posteriormente se ha desarrollado una segunda versión (RoboLab II) basada en Java y Java 3D⁹. Las últimas versiones de RoboLab utilizan el software *Easy Java Simulations*¹⁰ (EJS) (simulaciones sencillas en Java) y también están basadas en Java y Java 3D. La versión más reciente, iniciada en 2007 y denominada RobUALab [106], incluye muchas funciones nuevas con respecto a las anteriores y forma parte del proyecto AutomatL@bs. En la Figura 3.11 se

⁸ VRML (Virtual Reality Modeling Language) es un formato de archivo normalizado que tiene como objetivo la representación de escenas u objetos interactivos tridimensionales; diseñado particularmente para su empleo en la web.

⁹ El API Java 3D permite la creación de aplicaciones gráficas tridimensionales y applets basados en Internet en 3D.

¹⁰ Easy Java Simulations es una herramienta libre escrita en Java que ayuda a los no programadores a crear simulaciones interactivas en Java, principalmente para fines de enseñanza o aprendizaje.

muestra la interface de la última versión del sistema llamada RobUALab.ejs [108, 109].

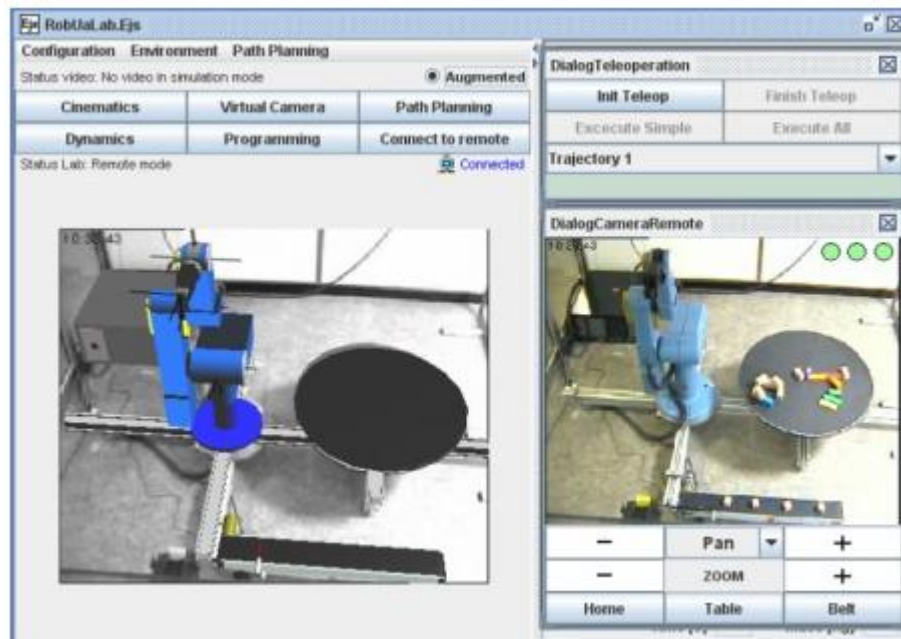


Figura 3.11 Interface del sistema RobUALab.ejs [109], última versión del sistema incluida en el proyecto AutomatL@bs .

Payá et al., presentan una herramienta que ofrece una fácil e intuitiva interacción a distancia con un equipo de robots móviles a través de Internet. Ha sido diseñado con el objetivo de que los estudiantes de Robótica lleven a cabo la capacitación con los robots móviles desde su propia casa, independientemente del sistema operativo que utilizan y con un mínimo de instalación en su ordenador. Esta herramienta facilita la comprensión de varios algoritmos y estrategias de control en el campo de la robótica móvil y la visión por ordenador [148-150]. Los principales componentes de la red de comunicación se muestran en la Figura 3.12.

La comunicación entre las diferentes partes del sistema ha sido implementada usando el modelo de referencia CORBA¹¹ (*Control Object Request Broker Architecture*).

¹¹ CORBA es un estándar definido por el Object Management Group (OMG) que permite trabajar juntos a los componentes de software escritos en múltiples lenguajes de programación y que se encuentren funcionando en varios equipos.

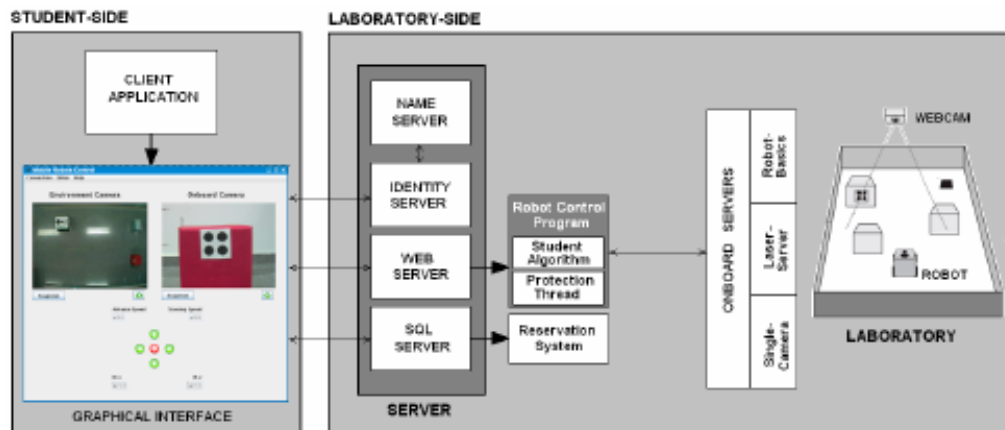


Figura 3.12 Arquitectura de software de la plataforma desarrollada para interactuar con el laboratorio remoto de robots móviles [150]. Permite la capacitación de los alumnos con los robots móviles desde su propia casa.

La aplicación cliente ha sido desarrollada utilizando el lenguaje de programación Java, ya que proporciona independencia tanto de la arquitectura y como del sistema operativo. Además, Java es compatible con CORBA de forma nativa, sin necesidad de utilizar otras bibliotecas externas. Esta característica permite la interacción de la aplicación del cliente utilizando el lenguaje C++ con los servicios CORBA desarrollados, tanto los ofrecido por los robots, las cámaras y el servidor de identidad.

El *Laboratorio de Automatización Remoto (RAL)* de la Universidad de Alcalá permite el acceso remoto a PLC (*Programmable Logic Controller, Controladores Lógicos Programables*) de diferentes fabricantes. Hace uso de una estructura de máquinas virtuales para permitir el acceso a cada uno de los tipos de PLC. Este sistema utiliza Moodle¹² y scripts¹³ en PHP para el manejo de los usuarios y la autenticación [83]. En la Figura 3.13 se muestra la arquitectura diseñada.

¹² Moodle es un Sistema de Gestión de Cursos de Código Abierto, aplicación web gratuita que los educadores pueden utilizar para crear sitios de aprendizaje efectivo en línea.

¹³ Script es un guión, archivo de órdenes o archivo de procesamiento por lotes. Es un programa usualmente simple, que por lo regular se almacena en un archivo de texto plano.

ser flexible, amigable y permitir un fácil uso del sistema. Además debe ser implementada de forma tal que se pueda mantener y ampliar sin dificultad.

La principal función de la interfaz de usuario consiste en mostrar las prácticas disponibles en el sistema, conformar el pedido de las prácticas con todos sus datos y enviarlo a la parte encargada de gestionarlos y, por último, presentar los resultados. En este nivel se encuentra la administración y gestión del sistema que, a su vez, se interrelaciona con los demás niveles.

Para realizar esta parte tan importante de la plataforma existen varias alternativas como son las aplicaciones específicas, las aplicaciones compiladas y las aplicaciones interpretadas.

Aplicaciones específicas

En las aplicaciones específicas se desarrolla una aplicación por parte del desarrollador del sistema la cual, generalmente, se realiza en un lenguaje de alto nivel como puede ser el C, C++, Delphi, Visual Basic, Java, entre otros. Dentro de esta clasificación se encuentra el trabajo *A Web-Based Laboratory for Control Engineering Education* (Un laboratorio basada en Web para la Educación de la Ingeniería de Control) [25]. Este método tiene como ventaja fundamental que la aplicación es descargada la primera vez y luego se puede usar mientras no ocurran cambios en el servidor. Permite realizar aplicaciones más interactivas.

El uso de aplicaciones específicas tiene como desventaja fundamental el hecho de tener que descargar la aplicación por parte del usuario lo que produce, en varios casos, que el usuario se arrepienta de usar la herramienta, pues trae problemas de seguridad, retardo en descargar la aplicación y posible incompatibilidad entre sistemas operativos, es decir, generalmente el desarrollador impone requisitos para la utilización. Otra desventaja importante lo constituye el no tener un mecanismo de actualización de la aplicación, esto solo se podría realizar volviendo a descargar la nueva aplicación o *plug-in*¹⁴ (complemento) que permita esto.

Todo esto hace que esta opción sea poco ventajosa para ser usada como única herramienta de interfaz de usuario de los laboratorios virtuales y remotos, de

¹⁴ Un plug-in (complemento) es una aplicación que se relaciona con otra para aportarle una función nueva y generalmente muy específica. Esta aplicación adicional es ejecutada por la aplicación principal e interactúan por medio de la API.

hecho, los sistemas la implementan como una elección adicional. En las últimas fechas prácticamente es una variante que no se utiliza.

Aplicaciones compiladas

Existen varios tipos de aplicaciones compiladas tanto del lado del servidor como del cliente.

Una de las más utilizadas son las aplicaciones CGI¹⁵ clásicas (*Common Gateway Interface, Interfaz de entrada común*) en las cuales se realiza la programación según APIs¹⁶ (*Application Programming Interface, Interfaz de programación de aplicaciones*) en lenguajes como C, C++, Delphi, etc. Aquí el módulo CGI recibe información a través de variables de entorno del servidor, realiza un procesamiento y escribe una respuesta para el cliente. Esto, por supuesto, se vincula con páginas HTML para lograr el objetivo deseado. En RECOLAB, el CGI se encarga del acceso a los recursos y la comunicación entre el servidor web y las aplicaciones MATLAB [158].

Otra metodología a la que se recurre para la interfaz de usuario de los laboratorios remotos es VRML por lo amigable e interactivo que es. VRML es un lenguaje para la descripción de objetos y mundos virtuales 3-D con los que el usuario puede interactuar. Entre sus principales características destaca la de ser un lenguaje estándar y, por consiguiente, universalmente utilizado en Internet como el lenguaje para simulaciones interactivas dentro de la web. VRML fue desarrollado para que millones de personas pudieran interactuar y cualquier usuario pueda acceder a sitios producidos en VRML. Fue diseñado precisamente para ser usado a través de Internet, usando el menor ancho de banda posible y aprovechando al máximo los recursos del equipo cliente. Un ejemplo de utilización de esta tecnología es el *VCLab: The Virtual Control Laboratory for Education on the Web* (El Laboratorio de Control Virtual para la Educación en la Web) [185] y también una de las versiones del Robolab [194].

Los applets de Java permiten el desarrollo de aplicaciones con interfaz gráfica. Esta variante es muy utilizada [16, 24, 184, 212], porque aunque hay que

¹⁵ CGI es una tecnología web que permite a un cliente (navegador web) solicitar datos de un programa ejecutado en un servidor web. CGI especifica un estándar para transferir datos entre el cliente y el programa.

¹⁶ API es el conjunto de funciones y procedimientos (o métodos, en la programación orientada a objetos) que ofrece cierta biblioteca para ser utilizado por otro software como una capa de abstracción.

descargar el applet, y esto lleva su demora, tiene la ventaja de brindar una interfaz más amigable e interactiva con el usuario. A diferencia de los CGI los applet se pueden actualizar de forma fácil y automática, completamente transparente para el usuario.

Sin embargo los applets tienen como dificultad un elevado consumo de recursos conforme aumenta la complejidad y contenido gráfico de la aplicación. Además le exige al usuario tener instalado los *plug-ins* necesarios por el navegador. Otro problema bien importante es cuando se usan sockets para la comunicación entre los clientes y el servidor, pues se asigna un puerto por cada cliente que se conecte al servidor, lo cual trae problemas con los firewalls que por cuestiones de seguridad tienen los puertos no estándares cerrados.

Otra variante utilizada en la creación de laboratorios virtuales y remotos, y que se incluye dentro de los applets de Java, es *Easy Java Simulations* (EJS) [24, 56, 68, 70, 99, 106]. Jara et al., realizan un exhaustivo estudio sobre la factibilidad de uso de esta tecnología [107, 111]. El EjsRL es una biblioteca de alto nivel de Java diseñada específicamente para EJS que proporciona un marco completo y funcional para el modelado y la simulación de manipuladores, algoritmos de visión artificial y operación remota [107].

El API Java 3D es una interfaz para escribir programas que muestran e interactúan con gráficos tridimensionales. Es una extensión estándar del JDK¹⁷ de Java y proporciona una colección de constructores de alto-nivel para crear y manipular geometrías 3D y estructuras para dibujar esta geometría. Este tipo de tecnología está ganando terreno en el mundo de los laboratorios remotos para la implementación de la interfaz de usuario debido a la forma amigable y realista en que se muestra al usuario. Ejemplo de esto se puede apreciar en el hecho de que el Robolab haya realizado una versión en Java 3D de su laboratorio.

Todas estas variantes de Java constituyen en la actualidad los métodos más utilizados como bien se demuestra en varios de los estudios realizados [82, 89, 129].

¹⁷ Java Development Kit (JDK), es un software que provee herramientas de desarrollo para la creación de programas en Java.

Aplicaciones interpretadas

Las aplicaciones interpretadas son aplicaciones cuyos códigos son interpretados por el servidor web.

El ASP/ ASP.NET es un lenguaje de secuencia de comandos (*script*) del lado del servidor desarrollado por Microsoft. Es utilizado para la programación de páginas web dinámicas y para la comunicación con bases de datos. En [13, 53, 192] se utiliza esta tecnología para validar el acceso de los usuarios y comunicarse con las bases de datos del sistema.

El lenguaje PHP es un lenguaje del lado del servidor que es muy flexible y con potentes APIs para el manejo de bases de datos, mail, comercio electrónico, etc. Varios sistemas de laboratorios remotos y virtuales hacen uso de este lenguaje con el objetivo de autenticar usuarios, la verificación de las entradas de los mismos, el acceso a las bases de datos y la presentación y actualización de la interfaz de usuario [39, 83, 124, 126, 159, 179, 184, 206].

El *Java Server Pages* (JSP) es un lenguaje de secuencia de comandos del lado del servidor que permiten manejar clases de Java, por lo que se presentan como una solución híbrida entre JavaScript y Java con una gran flexibilidad.

En la mayoría de las aplicaciones web se hace uso de la combinación de estas herramientas aprovechando las ventajas que cada una ofrecen. Las variantes Java son muy utilizadas por la gran portabilidad que presenta este lenguaje.

Otras tecnologías actuales han comenzado a utilizarse ampliamente como son los Adobe Flash y AJAX (*Asynchronous JavaScript and XML*). Según el estudio realizado en [82], AJAX constituye por sus funcionalidades la mejor tecnología a utilizar en los laboratorios remotos. Esta tecnología brinda una excelente compatibilidad con los exploradores web, seguridad, compatibilidad con diferentes sistemas operativos y dispositivos móviles, potencia en funciones de video y audio, eficiencia en la utilización del ancho de banda, bajos costos en el desarrollo y una gran flexibilidad.

Selección de la tecnología para el desarrollo de la interfaz de usuario

Teniendo en cuenta el estudio realizado por García-Zubia et al., [82] se escogieron seis características para comparar las diferentes tecnologías más utilizadas para el desarrollo de la interfaz de usuario. Estas características son:

- Paradigma: ¿En qué grado la tecnología coincide con el paradigma actual para las nuevas aplicaciones?
- Acceso entre plataformas: ¿La aplicación se ejecuta en diferentes Sistemas Operativos?
- Compatibilidad con los navegadores web: ¿Es la tecnología compatible con los diferentes navegadores web?
- Instalación necesaria: ¿Requiere la aplicación de software instalación para su correcto funcionamiento?
- Audio y vídeo: ¿Qué tan poderosas son las capacidades de audio y video provistos por la tecnología?
- Flexibilidad: ¿Tiene la tecnología capacidades para el desarrollo de aplicaciones en diferentes contextos?

En el Anexo 1 se analizan estas características para las siguientes tecnologías: Aplicaciones específicas, Java applets, HTML, AJAX, PHP y ASP/ ASP.NET que son las más representativas. El análisis se ha realizado siguiendo la metodología propuesta en [82].

Del análisis realizado se puede apreciar que las tecnologías más apropiadas para el desarrollo de la interfaz de usuario en laboratorios remotos son AJAX, PHP y HTML como se corrobora en trabajos sobre este tema [82, 89].

En la práctica, lo que generalmente ocurre es que se realiza una fusión de varias de estas tecnologías con el objetivo de lograr los resultados deseados.

El Sistema de Laboratorios a Distancia, en su versión actual, implementa este nivel vinculando las páginas HTML con PHP y hace también uso de AJAX.

3.3.2 Gestión de prácticas

En la capa de gestión de prácticas el sistema se encarga de enviar los pedidos de prácticas realizados a través de la interfaz de usuario al nivel de procesamiento de prácticas para luego devolver al usuario la respuesta de la ejecución, es decir, funciona como enlace entre la interfaz de usuario y la capa de procesamiento de prácticas.

En la actualidad se utilizan tres variantes principalmente, *MATLAB Web Server*, *LabVIEW Internet Tool-kit* y en otros trabajos se implementan mecanismos propios de comunicación ya sea con MATLAB o con otro software de procesamiento de prácticas.

Gestión de prácticas mediante MATLAB Web Server

El paquete de herramientas MATLAB Web Server tiene como función principal la comunicación entre las aplicaciones web y MATLAB, para esto hace uso de un servidor TCP/IP (*Transmission Control Protocol / Internet Protocol*) multi-hilo que ejecuta los programas de MATLAB que les solicita el CGI. Estos programas están especificados en el documento HTML y para ello hace uso de un fichero de configuración llamado “*mathweb.conf*”. En este fichero de configuración se especifica el número de puertos que se van a utilizar en la comunicación y el número máximo de simulaciones (Figura 3.14).

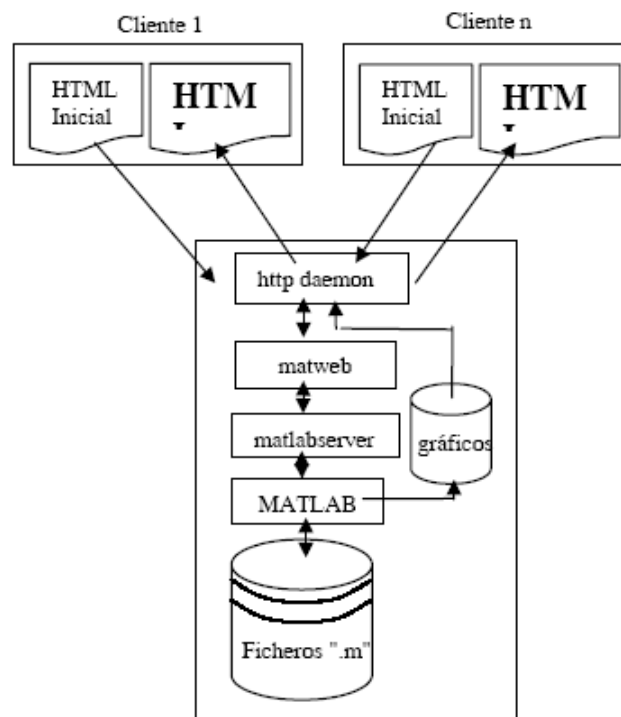


Figura 3.14 Esquema general de un sistema que utiliza MATLAB Web Server para la comunicación entre las aplicaciones web y MATLAB a través de un servidor TCP/IP.

MATLAB Web Server, a pesar de tener la ventaja de permitir la comunicación entre el CGI y MATLAB, tiene la desventaja de que una misma práctica sólo se puede ejecutar en una máquina, la especificada por el fichero de configuración. Además no permite validar los parámetros de las prácticas introducidos por el usuario antes de ser pasadas a ejecutar con MATLAB ni permite enviar ficheros del cliente al servidor, lo que imposibilita el desarrollo de prácticas con cambio

de estrategias de control. El sistema RECOLAB hace uso de MATLAB Web Server para enlazar los datos del cliente con MATLAB [157, 158].

Gestión de prácticas mediante LabVIEW Internet Tool-kit

LabVIEW tiene la particularidad de que se puede unir el nivel de interfaz de usuario y el de gestión de prácticas pues el VI (*Virtual Instrument*, archivo de LabVIEW) que conforma el pedido de la práctica a ejecutar puede utilizar a otros que le permitan comunicarse con LabVIEW y pasarle directamente los parámetros. Para poder utilizar esta variante hay que instalar LabVIEW en el servidor web. En [48, 65, 85, 143, 161, 190, 213] se muestra la utilización de LabVIEW para la gestión de las prácticas.

Gestión de prácticas mediante mecanismos propios de comunicación

Algunos sistemas desarrollados hacen uso de software específico para llevar a cabo el procesamiento de las prácticas, implementando sus mecanismos propios para comunicar la interfaz de usuario con este nivel.

Por otra parte otros utilizan MATLAB o LabVIEW, pero no usan ni *MATLAB Web Server* ni LabVIEW Internet Tool-kit para la comunicación, sino que realizan su mecanismo de comunicación propio tratando de eliminar las limitaciones impuestas por aquellos.

Selección de la tecnología para la gestión de prácticas

Se realiza un análisis de las tecnologías utilizadas más comúnmente en la gestión de prácticas. Para el análisis se tomaron las seis características siguientes:

- Acceso entre plataformas: ¿La aplicación se ejecuta en diferentes Sistemas Operativos?
- Herramientas de desarrollo: ¿Existen herramientas potentes para el desarrollo de la aplicación?
- Velocidad de desarrollo: ¿Cuán rápido se puede desarrollar la aplicación de gestión de prácticas?
- Robustez: ¿Cuán robusto es la aplicación desarrollada?
- Flexibilidad: ¿Tiene la tecnología capacidades para el desarrollo de aplicaciones en diferentes contextos?

- Precio: Costo de los software necesarios para el desarrollo de la aplicación.

En el Anexo 2 se analizan estas características para las siguientes tecnologías utilizadas en la gestión de prácticas: Mecanismos propios de comunicación, MATLAB Web Server, LabVIEW Internet Tool-kit que son las más representativas. De este análisis se concluye que LabVIEW y MATLAB son los más puntuados y según estudios realizados los más utilizados [89]. No obstante cuando se desea una mayor flexibilidad es mejor hacer uso de mecanismos propios.

En el Sistema de Laboratorios a Distancia se implementa un mecanismo propio de comunicación. En este caso se hace uso de *Web Services* que se comunican con MATLAB/Simulink. El funcionamiento será explicado más adelante.

3.3.3 Procesamiento de las prácticas

Este nivel se encarga de ejecutar las prácticas seleccionadas por el usuario, cuyos datos y parámetros fueron establecidos en la interfaz del usuario. La forma en que se procesan las prácticas depende del software utilizado. Las variantes más recurridas son software específico, LabVIEW y MATLAB/Simulink.

LabVIEW y MATLAB/Simulink, a pesar de ser software propietario, son los más utilizados [89].

Procesamiento de las prácticas mediante software específico

Para la implementación de este nivel se utilizan lenguajes como C, C++, Java, Python entre otros. Esta variante se desarrolla generalmente para aplicaciones muy específicas y tiene el inconveniente de ser difícil de mantener y, a la larga, su costo efectivo es mucho más alto que implementarlo mediante un software profesional [82, 196].

Procesamiento de las prácticas mediante LabVIEW

LabVIEW constituye un software muy utilizado para el procesamiento de prácticas debido a su fácil uso [48, 67, 74, 83, 85, 120, 121, 123, 161, 190, 192, 193].

James Trevelyan plantea que LabVIEW es un potente software con un amplio rango de conexiones de hardware y plataformas de apoyo que permiten la realización de aplicaciones para Internet. LabVIEW provee todas las facilidades básicas requeridas para implementar laboratorios online [196].

Otra ventaja que presenta LabVIEW es que, al ser desarrollado por la compañía *National Instruments*, tiene una amplia compatibilidad con tarjetas de adquisición de datos y otros dispositivos físicos.

Procesamiento de las prácticas mediante MATLAB/Simulink

MATLAB/Simulink como herramienta de procesamiento de prácticas es muy potente debido a la gran variedad de paquetes de herramientas relacionados con el control que contiene, por lo que tiene un amplio uso en el área de control automático. Además, se desarrolla una gran cantidad de software para interactuar con MATLAB, entre ellos los necesarios para lograr la ejecución de las prácticas en tiempo real, independientemente de que MATLAB tenga su paquete de herramientas de tiempo real (*Toolbox Real-Time Workshop* y *Real-Time Windows Target*). Todo esto ha propiciado que el uso de MATLAB sea una de las variantes más utilizadas en la bibliografía consultada [4, 23, 24, 44, 48, 70, 97, 99, 112, 113, 118, 133, 157, 159, 168, 182, 189, 199, 201, 202, 211, 212] para el procesamiento de las prácticas en los laboratorios remotos y virtuales.

Selección de la tecnología para el procesamiento de las prácticas

Se realiza un análisis de las tecnologías para el procesamiento de prácticas. Para esto se toma en cuenta las siguientes características:

- Acceso entre plataformas: ¿La aplicación se ejecuta en diferentes Sistemas Operativos?
- Herramientas de desarrollo: ¿Existen herramientas potentes para el desarrollo de la aplicación?
- Velocidad de desarrollo: ¿Cuán rápido se puede desarrollar la aplicación de gestión de prácticas?
- Robustez: ¿Cuán robusto es la aplicación desarrollada?

- Compatibilidad con el hardware: ¿En qué medida es compatible la tecnología con las tarjetas de adquisición de datos y demás elementos de hardware?
- Precio: Costo de los software necesarios para el desarrollo de la aplicación.

En el Anexo 3 se analizan estas características para las siguientes tecnologías utilizadas en el procesamiento de las prácticas: Mecanismos propios de procesamiento, MATLAB/Simulink y LabVIEW que son las más representativas. De este análisis se concluye que LabVIEW y MATLAB son los más puntuados y según estudios realizados los más utilizados [89].

En el Sistema de Laboratorios a Distancia se utiliza el MATLAB/Simulink y los paquetes de herramientas de tiempo real *Real-Time Workshop* y *Real-Time Windows Target*.

3.4 Herramientas de administración y gestión

Dentro de las herramientas de administración más usadas en estos sistemas está el registro de usuarios que puede ser de dos formas. La primera variante es el registro en línea, aquí el usuario introduce sus datos en un formulario, incluyendo por supuesto el nombre de usuario o *login* que quiere utilizar y su contraseña y automáticamente se le introduce en la base de datos del sistema. Por su parte en el registro fuera de línea, un administrador o usuario privilegiado introduce los nuevos usuarios en la base de datos de forma manual.

Existen una serie de sistemas de laboratorios virtuales y remotos que implementan el registro en línea para lograr una mayor utilización de estos por parte de diferentes usuarios interesados.

Un ejemplo de esta variante de registro en línea es el Laboratorio Remoto de Automática de la Universidad de León [53] (Figura 3.15), el cual permite a los usuarios el acceso a equipos industriales, como una planta piloto para la realización de experiencias de control de operación y supervisión remota, maquetas de procesos de control sobre variables de nivel, caudal, temperatura y otros equipos de automatización industrial. Los usuarios registrados pueden realizar prácticas de control sobre las plantas antes mencionadas, comunicarse

con otros usuarios, entre otras opciones que no posee el que entra como invitado. Los usuarios tienen que rellenar un formulario introduciendo una dirección de correo electrónico que permite validar el registro. Es de destacar que, debido a esto, el acceso al sistema no es inmediato sino solo después que el administrador lo permita.

El registro fuera de línea, a pesar de restringir el acceso de los usuarios al sistema, es la variante más usada quizás con el objetivo de lograr una mayor seguridad [173].

Home > User account

User account [Create new account](#) [Log in](#) [Request new password](#)

Account information

Username: *

Spaces are allowed; punctuation is not allowed except for periods, hyphens, and underscores.

E-mail address: *

A valid e-mail address. All e-mails from the system will be sent to this address. The e-mail address is not made public and will only be used if you wish to receive a new password or wish to receive certain news or notifications by e-mail.

Bienvenidos al proceso de registro de la web del Laboratorio de Automática y Control.

Si es alumno de la Universidad de León utilice como nombre de usuario (*username*) la primera parte del correo electrónico de la universidad. Por ejemplo, si su dirección es *tinaov02@unileon.es*, debería utilizar como nombre de usuario *tinaov02*.

Personal Information

Name: *

The content of this field is kept private and will not be shown publicly.

First surname: *

The content of this field is kept private and will not be shown publicly.

Second surname:

The content of this field is kept private and will not be shown publicly.

DNI: *

The content of this field is kept private and will not be shown publicly.

Figura 3.15 Formulario de registro en línea de usuarios del Laboratorio Remoto de Automática [53]. Los usuarios registrados pueden realizar prácticas de control sobre equipos industriales.

Un ejemplo de esta forma de registro de usuarios es JavaLab: Laboratorio virtual y Remoto para prácticas de Regulación Automática [205], en el cual para poder ejecutar los laboratorios en tiempo real el usuario debe estar validado. Aunque en el sistema existe un lugar para registrarse, es sólo para usuarios

agregados por los administradores del mismo como se muestra en la Figura 3.16.



Figura 3.16 Área de validación de usuarios del sistema JavaLab [205]. Para poder ejecutar los laboratorios en tiempo real el usuario debe estar validado.

También el proyecto AutomatL@bs solo permite el acceso a los usuarios previamente introducidos en su base de datos. Con las claves de acceso (login y password) que les han sido enviadas a los alumnos en una carta, deben acceder a la dirección <http://lab.dia.uned.es:8080/emersion> accediendo al formulario de registro que se muestra en la Figura 3.17 [70].

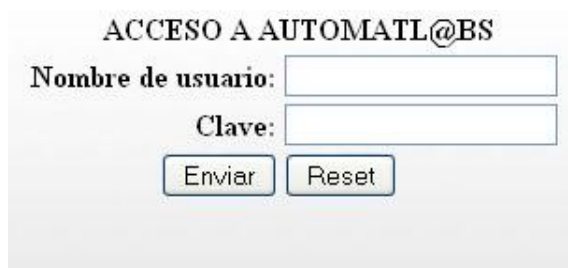


Figura 3.17 Formulario de acceso al sistema AutomatL@bs [203]. Solo permite el acceso a los usuarios previamente introducidos en el sistema.

El registro de usuarios, como vimos anteriormente, es una herramienta administrativa muy útil, pero se vuelve más poderosa si se incluye una personalización de acceso de los usuarios. Cada usuario del sitio tendrá un rol y, en dependencia del mismo, permiso de acceso a diferentes niveles y funciones del sistema. También puede ser utilizado para evitar las colisiones de los accesos a los dispositivos críticos pudiendo realizar reservas de acceso al sistema.

Las plataformas de laboratorios virtuales y remotos son utilizadas fundamentalmente para la docencia y la investigación por lo que controlan el acceso a sus laboratorios de varias formas. Esto ocurre fundamentalmente porque el acceso a los recursos críticos como son robots, motores, telescopios y otras plantas físicas solo puede ser hecho por un usuario a la vez. Debido a esto, cuando las instituciones desean realizar prácticas de laboratorio con su sistema, tienen que implementar mecanismos para evitar que usuarios externos accedan. Por ejemplo en JavaLab los usuarios, estudiantes y grupos del sistema pueden reservar horarios de laboratorio (Figura 3.18).



Figura 3.18 Ventana de Gestión de Horarios del sistema JavaLab [205]. Los usuarios, estudiantes y grupos del sistema pueden reservar horarios de laboratorio.

Aquí se puede introducir una reserva horaria para el uso de la planta empleando un cuadro de diálogo (Figura 3.19), o directamente sobre un calendario (situado a la derecha) en el que se puede seleccionar la semana en la que se quiere reservar. Arrastrando el ratón sobre este calendario, el usuario puede seleccionar qué intervalo de tiempo desea en múltiplos de 15 min, con un límite máximo de tiempo por día. Cuando se trate del Administrador, este tiene la potestad de añadir, modificar o borrar reservas de otros usuarios.

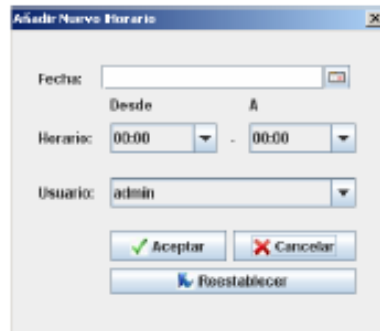


Figura 3.19 Cuadro de dialogo de reserva de horario de laboratorio JavaLab [205]. El Administrador puede añadir, modificar o borrar reservas de otros usuarios.

Otro sistema que permite la reserva de espacios de laboratorio es eMersion. Esta reserva permite organizar el acceso de los alumnos a los recursos del entorno de experimentación. Mediante la herramienta desarrollada los estudiantes pueden elegir una fecha y hora específica de trabajo con el fin de reservar dicha franja de tiempo para su uso exclusivo [203]. En la Figura 3.20 se muestra la configuración de una reserva por parte del servidor.



Figura 3.20 Servidor de reserva del sistema eMersion [203]. Los estudiantes pueden elegir una fecha y hora específica de trabajo.

Otra herramienta administrativa usada actualmente en los Laboratorios Remotos es la Gestión de Asignaturas y Grupos. Cada asignatura que se

introduzca en el laboratorio puede tener varios grupos, de ahí la necesidad de tener un control de los grupos matriculados.

Los posibles tipos de asignatura están especificados en la Base de Datos. Al eliminar una asignatura, se eliminan todos sus grupos y se borran las relaciones entre los grupos borrados y los alumnos. Un ejemplo de ello se muestra en el laboratorio de la Universidad Politécnica de Catalunya (UPC) [164] (Figura 3.21).

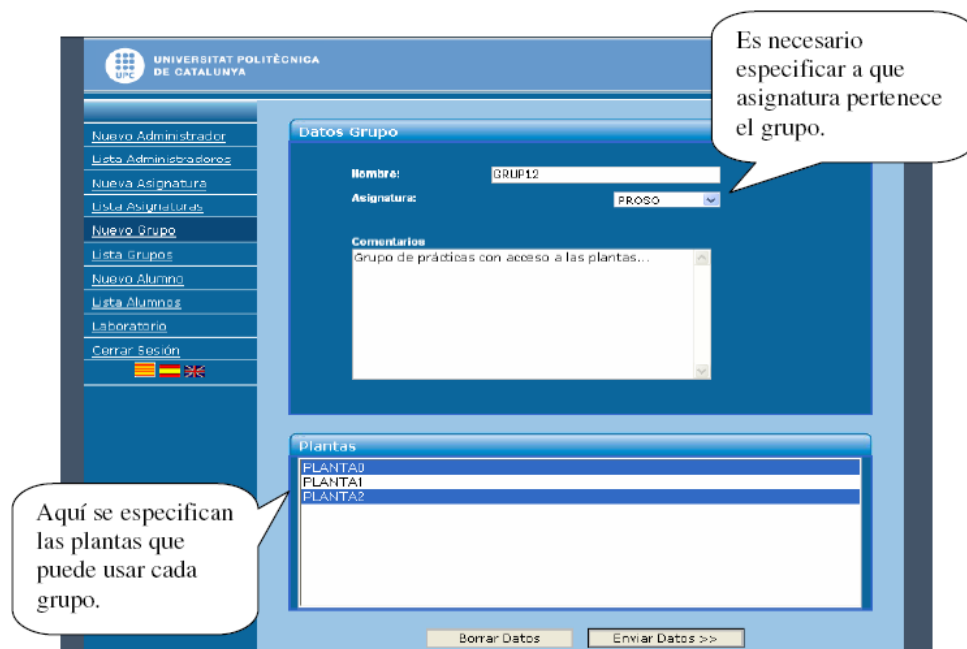


Figura 3.21 Herramienta de gestión de grupos del laboratorio de la Universidad Politécnica de Catalunya [164]. Permiten organizar a los alumnos en grupos.

Además de estas herramientas antes mencionadas existe otra para la gestión de plantas, donde se ven y modifican los estados en las que estas se encuentran. Además permite introducir y configurar nuevas plantas. Como se puede apreciar hay muchas herramientas administrativas que hacen de estas plataformas un sistema más seguro y disponible.

La tendencia actual es la de asociar los sistemas de laboratorios remotos y virtuales con algún Sistema de Administración de Cursos (LMS) como puede ser Moodle, WebCT, ATutor, AulaWeb, etc [15, 83, 110, 132, 161, 171, 172]. Esta unión permite dotar a los laboratorios remotos de mayores funcionalidades de la educación a distancia como son trabajo colaborativo, chat, foros, autoevaluaciones, etc. Por ejemplo en [200] con el objetivo de mejorar el

aprendizaje del diseño de controladores y minimizar la relación entre la teoría y la práctica se utiliza Moodle para alojar el acceso al laboratorio remoto.

A modo de resumen del capítulo se muestra en la Tabla 3.2 las características de algunos laboratorios/experimentos remotos y SLD.

Laboratorio / Experimento remoto	Tecnología del cliente	Tecnología del Servidor	Software de procesamiento de prácticas
ACT [39]	HTML, applets de Java	PHP	MATLAB/Simulink
WebLab-DEUSTO [82]	AJAX, Flash, applets de Java, LabVIEW Remote Panel	Web Services, Python, LabVIEW, Java, .NET, C, C++	Xilinx-VHDL, LabVIEW
Laboratorio Virtual y Remoto (UNED) [56]	EJS, applets de Java	Java	MATLAB/Simulink, Java
NCSLab [212]	AJAX, Flash	PHP	MATLAB/Simulink
RobUALab.ejs [108]	EJS, Java, Java3D	Java	Java
LabShare [128]	AJAX, applets de Java	Web Services, Java	Java
iLab [96]	HTML, ActiveX, applets de Java	Web Services, .NET	LabVIEW
RECOLAB [158]	HTML	PHP	MATLAB/Simulink
SLD [175]	AJAX, HTML	Web Services, PHP	MATLAB/Simulink

Tabla 3.2 Características de algunos laboratorios/experimentos remotos importantes y el sistema SLD. Se destacan las tecnologías utilizadas en el cliente y el servidor.

CAPÍTULO 4 MODELADO, DISEÑO Y FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE LABORATORIOS A DISTANCIA

El Sistema de Laboratorios a Distancia (SLD) es una aplicación desarrollada con tecnología web, que modifica su estado a partir de la interacción con el usuario.

Este sistema permite realizar prácticas de sistemas de control con diferentes tipos de plantas. Brinda además, al usuario registrado, la posibilidad de acceder a su directorio de prácticas donde se guardan todas las actividades realizadas. Los usuarios que tengan mayores privilegios cuentan con interfaces para mantener actualizada la base de datos que sirve de soporte al sistema. También pueden revisar y calificar las prácticas de los usuarios entre otras tareas adicionales.

En este capítulo se abordaran aspectos relacionados con el diseño, elección de tecnologías, implementación y puesta a punto de la aplicación desarrollada.

4.1 Modelado de la aplicación: interacción con el estudiante

Para el modelado del sistema se utilizó el Lenguaje Unificado de Modelo (UML), ya que brinda la posibilidad de organizar y definir la arquitectura del sistema mediante diagramas de casos de uso y de secuencia, entre otros [45].

UML es un lenguaje gráfico para visualizar, especificar, construir y documentar un sistema software. Ofrece un estándar para describir un "plano" del sistema (modelo), incluyendo aspectos conceptuales tales como procesos de negocio y funciones del sistema, y aspectos concretos como expresiones de lenguajes de programación, esquemas de bases de datos y componentes reutilizables [26].

Para el diseño de la aplicación se utilizó el software *Visio 2007 de Microsoft*, aprovechando todas las utilidades que brinda. *Microsoft Visio* es un *software* de dibujo vectorial. Las herramientas que lo componen permiten realizar

diagramas de bases de datos, diagramas de flujo de programas, UML, etc., que permiten iniciar al usuario en los lenguajes de programación. Esta herramienta tiene como principal ventaja la creación de diagramas UML con mayor rapidez.

4.1.1 Diagrama de casos de uso

En la Figura 4.1 se muestra la relación de los principales actores con los casos de uso generales del sistema.

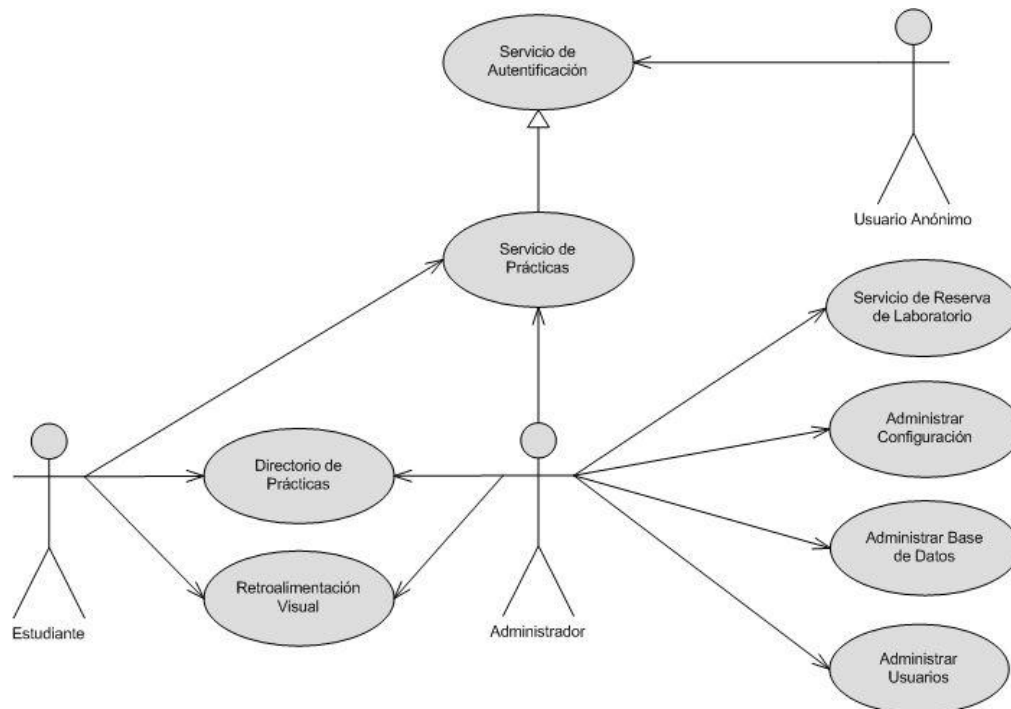


Figura 4.1 Diagrama general casos de usos del sistema. Relación entre los actores del sistema: Estudiante, Administrador y Usuario anónimo.

El SLD cuenta con tres actores, cada uno con roles diferentes para interactuar con el sistema, los cuales son:

- Usuario anónimo
- Estudiante
- Administrador

Los actores tienen una estrecha relación con los casos de usos correspondientes. El *Usuario Anónimo* es el actor al que el sistema le brinda la posibilidad de acceder al *Servicio de autenticación* para así poder hacer uso del sistema como *Estudiante* o *Administrador* y además de poder acceder a las páginas de teoría e información de las prácticas y de la plataforma. En caso de

ser un usuario sin registro en el sistema se deben introducir los datos solicitados y automáticamente se accede a la sesión.

Al actor *Estudiante* el sistema le brinda la posibilidad de utilizar el *Servicio de prácticas*. El sistema crea un directorio personal donde se guardan todos los resultados de los experimentos realizados por el actor *Estudiante*. Este actor puede elegir en qué forma ejecutar la práctica según sean las opciones y además puede seleccionar que resultados deben ser revisados por el actor *Administrador*. Puede igualmente revisar en cada momento todas las prácticas realizadas por él y eliminar las no deseadas.

El actor *Administrador* es el de más privilegio del sistema. Este actor, además de acceder al *Servicio de prácticas*, tiene privilegios para chequear los directorios personales de los estudiantes, revisar sus prácticas y darle una calificación. Tiene la posibilidad de administrar la base de datos del sistema, crear, editar y eliminar usuarios, introducir nuevas prácticas, configurar las propiedades de la aplicación mediante el caso de uso *Administrar configuración*. Tiene también permiso para realizar reservas de laboratorios.

4.2 Casos de uso generales

Servicio de autenticación del estudiante.

El Servicio de autenticación es brindado por el sistema al usuario anónimo desde el primer momento en que accede al sitio web de la aplicación. Este caso de uso incluye el servicio de validación de los datos del estudiante y la creación de su perfil en una sesión tras registrarse correctamente (Figura 4.2).

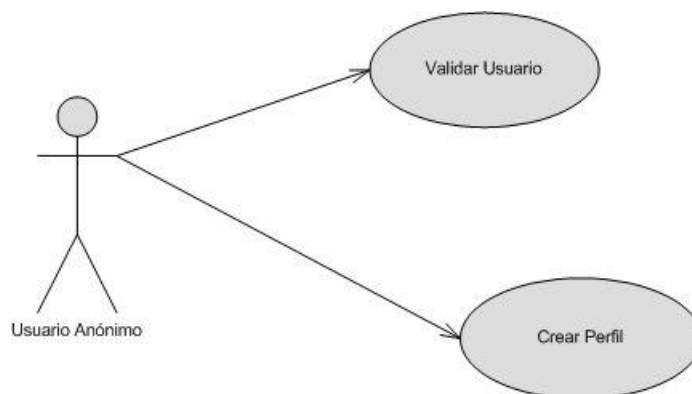


Figura 4.2 Caso de uso Servicio de autenticación brindado por el sistema al usuario anónimo. Incluye el servicio de validación de los datos y la creación de un perfil tras realizar el registro correctamente.

Una vez que un usuario anónimo registrado accede al sistema introduce su nombre de usuario y contraseña en el formulario mostrado en la Figura 4.3. Luego de oprimir en el botón *Enviar* el sistema valida los datos almacenados en la base de datos y, si son correctos, el usuario ingresa en su sesión de trabajo y cambia su estatus a actor *Estudiante*.

Figura 4.3 Formulario de autenticación en el sistema. Los datos introducidos son validados por el sistema permitiendo ingresar al sistema como *Estudiante*.

Si el usuario anónimo no se ha registrado antes en el sistema, debe hacerlo mediante el formulario que se muestra al hacer clic en *Registrarse*. Luego de introducir correctamente los datos solicitados y estos ser validados por el sistema, se almacena la información en la base de datos y se crea un perfil de usuario. El usuario ingresa en su sesión de trabajo como actor *Estudiante*.

En el Anexo 4 se muestra el flujo de eventos de este caso de uso.

Servicio de prácticas.

El Servicio de prácticas es brindado por el sistema a los actores *Estudiante* y *Administrador*. Este servicio posibilita la realización de las prácticas, ya sean paramétricas o con cambio de regulador, simuladas o reales para los dispositivos físicos disponibles en el sistema (Figura 4.4).

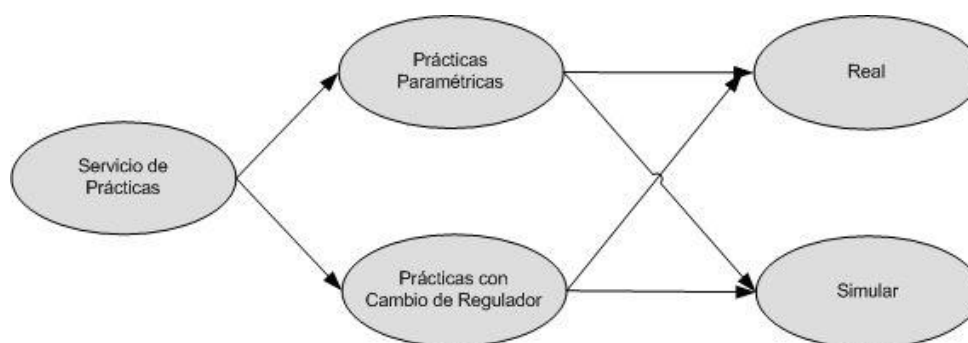


Figura 4.4 Caso de uso Servicio de prácticas que posibilita la realización de las prácticas.

Una vez que el actor *Estudiante* ha ingresado al sistema accediendo a la sección de prácticas se lista las prácticas disponibles en el sistema que se encuentran almacenadas en la base de datos. Se ha hecho una organización de acuerdo a los dispositivos físicos y una sección para el proyecto integrado. El actor escoge la práctica a desarrollar y una vez ingresados los datos solicitados por la misma, el sistema recoge toda esta información y la envía a una *Estación* que pueda ejecutar la práctica. Los resultados de la ejecución son mostrados al actor y registrados dentro las prácticas realizadas por él según en caso de uso Directorio de prácticas.

En el Anexo 5 se muestra el flujo de eventos de este caso de uso para los actores *Estudiante* y *Administrador*.

Directorio de prácticas.

El caso de uso Directorio de prácticas (Figura 4.5) es para los actores *Estudiante* y *Administrador*. Este caso de uso permite crear un directorio para guardar los resultados de las prácticas realizadas, por lo que posteriormente los usuarios podrán acceder a ellas y comparar resultados, descargar resultados, realizar gráficas, etc.

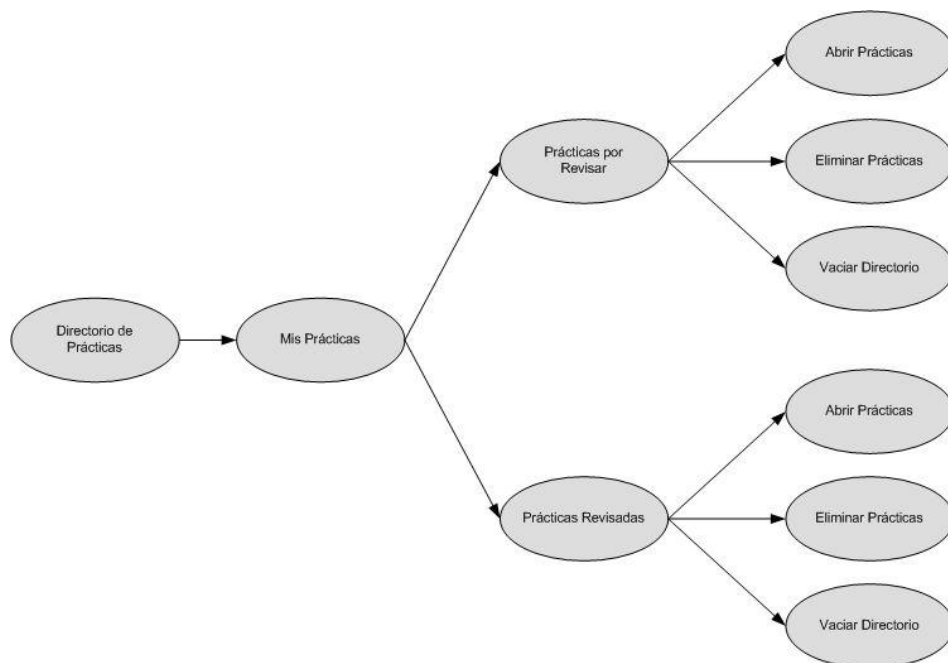


Figura 4.5 Caso de uso Directorio de prácticas que permite crear un directorio para guardar los resultados de las prácticas realizadas.

Los actores *Estudiante* y *Administrador* pueden acceder al enlace *Mis Prácticas* del menú de navegación para abrir una página que muestra todas las prácticas realizadas por el actor. Seleccionando una de las prácticas guardadas se abre la página de la práctica realizada con anterioridad y el actor puede descargar imágenes, fichero de datos o el modelo enviado según corresponda. Adicionalmente el actor puede presionar el botón Revisar si la práctica no ha sido enviada a la revisión. En el listado de prácticas realizadas el actor puede eliminar una práctica presionando en el icono de borrar.

Una vez en el menú *Mis Prácticas* el actor puede acceder a la opción *Prácticas por revisar* que lista todas las prácticas que esperan por una revisión y a la opción *Prácticas revisadas* que lista todas las prácticas que ya han sido revisadas.

El Anexo 6 muestra el flujo de eventos del caso de uso *Directorio de prácticas* para los actores *Estudiante* y *Administrador*.

Servicio de realimentación visual

El servicio de Realimentación visual es un caso de uso para los actores *Estudiante* y *Administrador*. Este caso de uso permite a los usuarios ver como se realizan las prácticas en tiempo real mediante video *streaming*¹⁸.

El *streaming* funciona mediante un búfer de datos que va almacenando lo que se va descargando para luego mostrarse al usuario. Esto se contrapone al mecanismo de descarga de archivos, que requiere que el usuario descargue los archivos por completo para poder acceder a ellos.

Administrar usuarios.

Con el caso de uso *Administrar usuarios* interactúa el actor *Administrador* ofreciéndole la posibilidad de crear, editar o eliminar usuarios. También este caso de uso permite cambiar los privilegios de los usuarios, así como crear, editar y eliminar grupos de trabajos (Figura 4.6).

Una vez que el actor *Administrador* se encuentra en la sección de administración puede acceder al enlace *Usuarios* en el menú de *Navegación* donde el sistema muestra la lista de los usuarios con privilegios de

¹⁸ El streaming es la distribución de multimedia a través de una red de computadoras de manera que el usuario consume el producto al mismo tiempo que se descarga.

Administrador. En el enlace *Perfiles* se muestra la lista de todos los usuarios registrados y con privilegios de *Estudiante*.

El actor *Administrador* puede igualmente mostrar las propiedades de cada usuario y modificar sus datos, aunque nunca tendrá acceso a la contraseña. De esta forma se puede realizar la promoción de un *Estudiante* a *Administrador*. También tiene la posibilidad de eliminar usuarios del sistema.

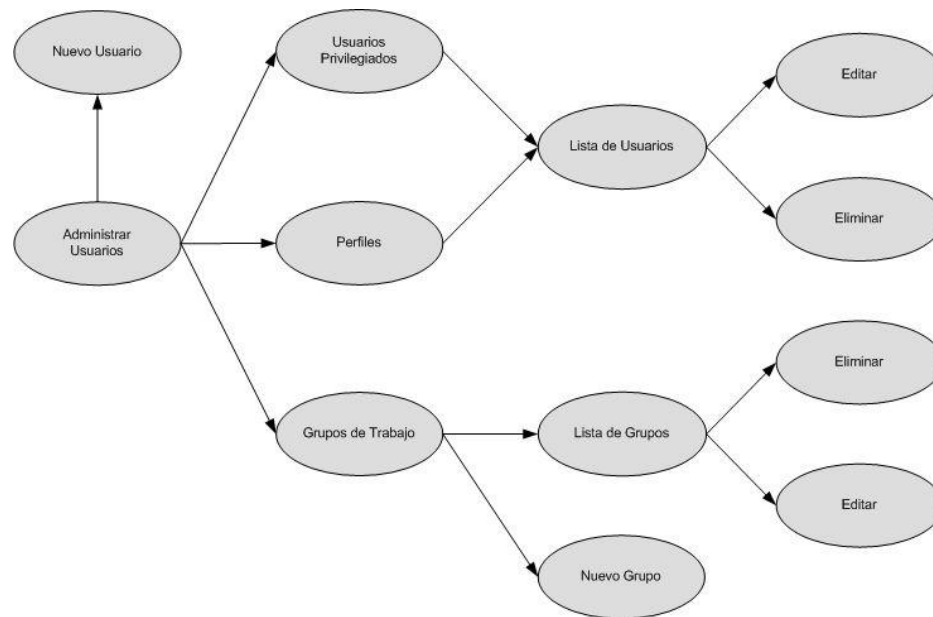


Figura 4.6 Caso de uso Administrar usuarios que permite al administrador crear, editar o eliminar usuarios.

En esta misma sección el actor *Administrador* puede crear un nuevo usuario o un grupo de usuarios. Los *Grupos de usuarios* permiten organizar los usuarios y luego utilizarlos en las reservas de prácticas.

En el Anexo 7 se muestra el flujo de eventos del caso de uso *Administrar usuarios* para el actor *Administrador*.

Administrar configuración.

El caso de uso *Administrar configuración* está asociado al actor *Administrador* (Figura 4.7).

Este caso de uso permite editar los parámetros de acceso a servidores externos, editar la lista de dominios de sistema y habilitar o deshabilitar tipos de autenticación. La plataforma SLD permite su integración en Directorio Activo (AD) lo cual tendría como ventaja asociada la no necesidad de un registro de

usuarios en la base de datos, se ingresaría directamente con sus datos de dominio.

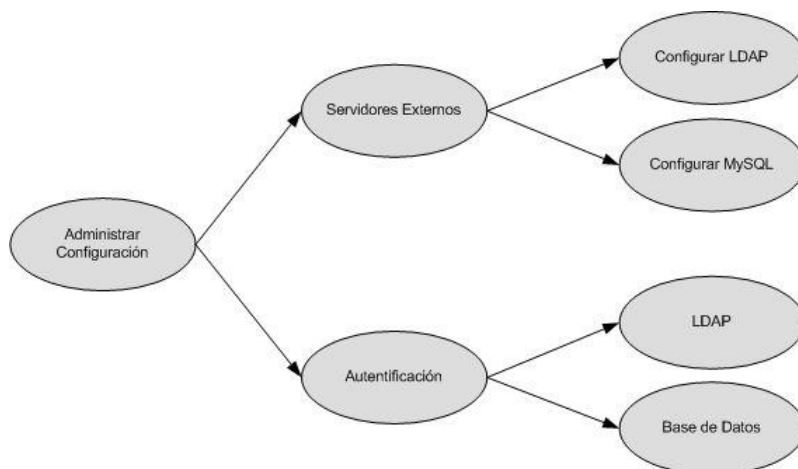


Figura 4.7 Caso de uso Administrar configuración que permite al Administrador editar los parámetros de acceso a servidores externos.

En el Anexo 8 se muestra el flujo de eventos del caso de uso *Administrar configuración*.

Administrar base de datos.

El caso de uso *Administrar base de datos* interactúa con el actor *Administrador*. A través de *Administrar base de datos* se puede mantener correctamente actualizada la base de datos del sistema. También brinda la posibilidad de subir, editar o eliminar prácticas (Figura 4.8).

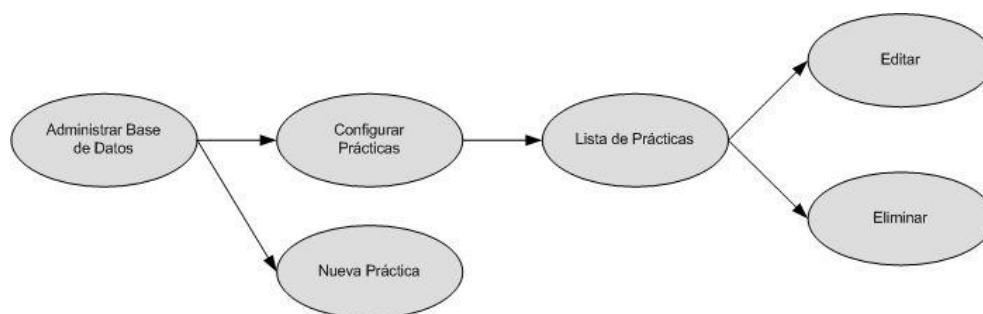


Figura 4.8 Caso de Uso Administrar Base de Datos que posibilita al Administrador mantener correctamente actualizada la base de datos del sistema.

El actor *Administrador* accediendo al enlace *Configurar Prácticas* en el menú de Navegación puede listar las prácticas disponibles en el sistema, incluso las que se encuentran deshabilitadas u ocultas. De esta forma accediendo a cada una

de ellas puede visualizar sus características y editarlas sin necesidad de acceder a la base de datos directamente. También se pueden adicionar nuevas prácticas a la base de datos del sistema.

En el Anexo 9 se muestra el flujo de eventos del caso de uso *Administrar base de datos*.

Servicio de reserva de laboratorio.

El caso de uso *Servicio de Reserva de laboratorio* interactúa con el actor *Administrador*. A través del *Servicio de Reserva de laboratorio* se realiza la gestión de horarios seleccionando el día, la hora y la estación de trabajo.

El *Servicio de Reserva de laboratorio* ha sido pensado y diseñado con el objetivo de poder realizar reservas de tiempo para actividades docentes. Debido a que los laboratorios remotos trabajan con recursos críticos, es necesario en caso de una actividad docente con restricciones de tiempo que el sistema esté reservado para que otros usuarios ajenos al grupo no ocupen tiempo. Es importante destacar que la reserva se hace por estación, por lo que si una misma estación de trabajo puede ejecutar más de un tipo de prácticas, todas estas estarían bloqueadas hasta finalizar la reserva.

En el Anexo 10 se muestra el flujo de eventos del caso de uso *Servicio de Reserva de laboratorio*.

4.3 Arquitectura general del sistema: componentes y gestión de la información

El sistema está formado por tres partes bien definidas, interfaz de usuario, administración de prácticas y procesamiento de prácticas [175].

En la Tabla 4.1 se relacionan cada una de las partes de la plataforma así como su implementación. La arquitectura se muestra en la Figura 4.9.

Partes de la Plataforma	Implementación en nuestra plataforma
Interfaz de Usuario	Sitio web con páginas HTML y PHP.
Administración de Pedidos de Prácticas	Aplicaciones propias con Web Services y PHP (Servidor y Estación).
Procesamiento de las Prácticas	MATLAB con Real Time Toolbox y Real Time Windows Target.

Tabla 4.1 Partes e implementación de la plataforma. Software utilizado.

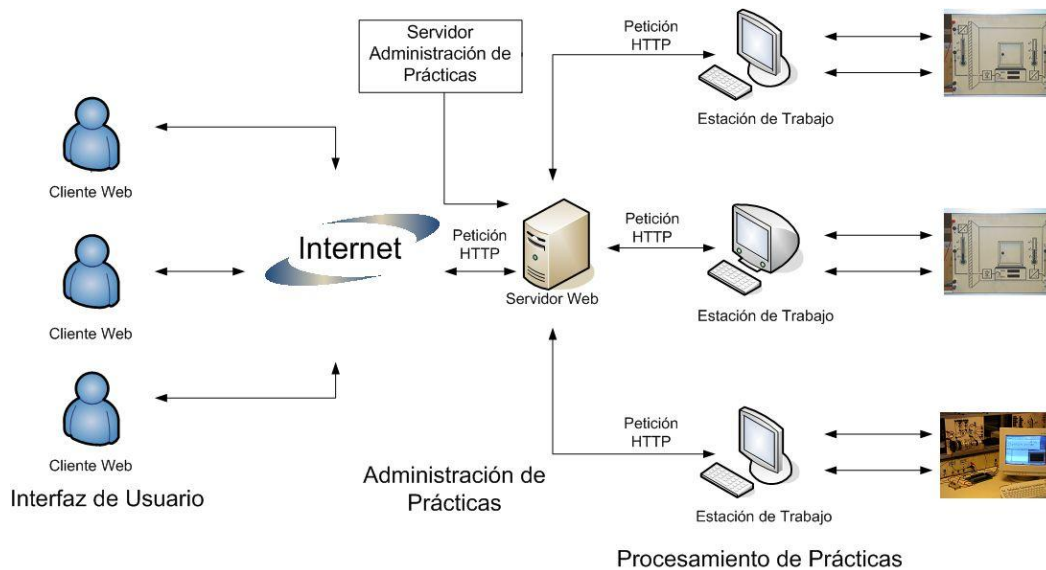


Figura 4.9 Arquitectura del sistema SLD. Interrelación de las partes que lo conforman: Interfaz de Usuario, Administración y Procesamiento de Prácticas.

4.3.1 Implementación del sistema e integración con MATLAB/Simulink

El sistema se ha implementado sobre software libre, tanto el soporte técnico como el lenguaje de programación debido a las ventajas que este brinda. Solo quedó como software propietario MATLAB para el procesamiento de las prácticas por las ventajas que tiene este software en la enseñanza del control.

El software libre brinda la posibilidad a los usuarios de ejecutar, copiar, distribuir, estudiar, cambiar y mejorar los programas desarrollados. El software libre se refiere a cuatro tipos de libertades para los usuarios. La primera es la libertad de ejecutar el programa para cualquier propósito. La segunda es la libertad de estudiar cómo trabaja el programa, y adaptarlo a sus necesidades. El acceso al código fuente es una condición necesaria. La tercera libertad es la de redistribuir copias para que puedan ayudar a otros usuarios. Por último la libertad de mejorar el programa y publicar sus mejoras y nuevas versiones, para que se beneficie toda la comunidad de usuarios y desarrolladores.

En el desarrollo del sistema se utilizó como lenguaje de programación PHP el cual es un lenguaje interpretado de alto nivel y ejecutado en el servidor. En el caso del servidor de base datos se utilizó MySQL y las consultas se realizaron

utilizando el lenguaje SQL¹⁹. Se utilizó igualmente para algunas aplicaciones del cliente códigos programados en JavaScript, el cual es un lenguaje interpretado orientado a las páginas web. Otra de las tecnologías utilizadas fue AJAX, que es una técnica de desarrollo web para crear aplicaciones interactivas. Estas se ejecutan en el cliente y mantiene comunicación con el servidor en segundo plano. El otro software utilizado en el sistema fue MATLAB/Simulink, el cual fue usado para la programación de las prácticas, ficheros .m y .mdl asociados a cada práctica. La versión utilizada de MATLAB fue la 7.0.

El sistema presenta como requerimientos técnicos un servidor web Apache, que puede instalarse sobre Windows o Linux. Este servidor es muy robusto y presenta muchas funcionalidades. Además debe instalarse PHP versión 4.3.2 o superior, tanto en su versión para Windows como para Linux en dependencia del sistema operativo escogido para el servidor web. Igualmente el Servidor MySQL como gestor de base de datos, puede instalarse sobre Windows o Linux.

En el caso de MATLAB, se instala en las estaciones de trabajo, es decir, las que se conectan directamente al proceso real. En caso de realizar prácticas con cambio de estrategia es necesario el uso de MATLAB/Simulink para modificar la plantilla base descargada del servidor.

En la Figura 4.10 se muestra la infraestructura del SLD. Las páginas servidoras (1) solicitadas por la aplicación cliente han sido programadas en lenguaje PHP. Mediante estas páginas se accede a los formularios web (2) las cuales han sido desarrolladas en XHTML²⁰.

En dependencia del tipo de formulario se accede a un servicio otro. La clase de autenticación LDAP²¹ (3) (Lightweight Directory Access Protocol, *Protocolo Ligero de Acceso a Directorios*) se encarga de gestionar la conexión con el servidor de dominio y la autenticación de las credenciales a través de las

¹⁹ El lenguaje de consulta estructurado o SQL (Structured Query Language) es un lenguaje declarativo de acceso a bases de datos relacionales que permite especificar diversos tipos de operaciones en estas.

²⁰ XHTML (eXtensible HyperText Markup Language) es básicamente HTML expresado como XML válido.

²¹ LDAP (Lightweight Directory Access Protocol) es un protocolo a nivel de aplicación que permite el acceso a un servicio de directorio ordenado y distribuido para buscar diversa información en un entorno de red.

funciones apropiadas para estos fines. Por su parte la clase de sesión de usuario *UserSession* (4) contiene las funciones que manejan los datos personales de los usuarios y crea una sesión en el servidor. Las clases de configuración (5) están destinadas a introducir y extraer de archivos los parámetros de configuración.

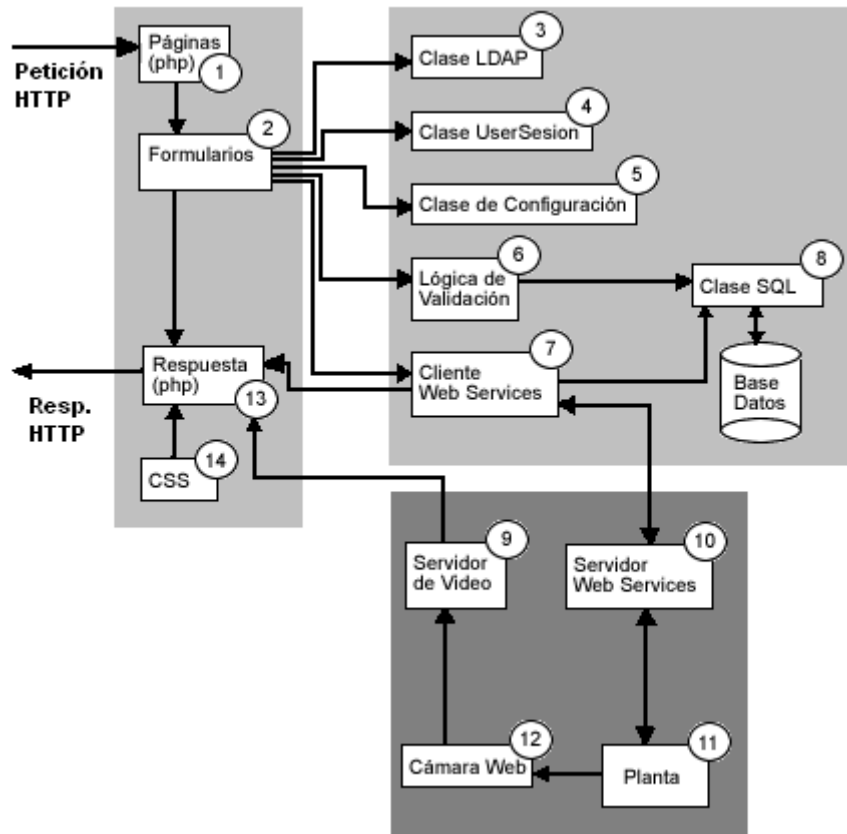


Figura 4.10 Vista general de la infraestructura del SLD. Bloques que lo conforman y permiten la respuesta del sistema ante cualquier acción solicitada.

La lógica de validación (6) lo constituyen un grupo de archivos que contienen códigos de validación de datos y otras tareas específicas. Se comunica con las clases de conexión con el servidor de base de datos SQL (8) el cual cuenta con métodos capaces de establecer una conexión, hacer consultas a la base de datos y hacer un procesamiento primario de la información resultante.

El Cliente *Web Services* (7), es el encargado de recoger los parámetros de las prácticas que se desean realizar y enviárselos al servidor para ser procesados, quedándose a la espera de la respuesta. Para esto se comunica tanto con las clases de conexión con el servidor de base de datos SQL (8) como con el Servidor de *Web Services* (10).

El servidor de video (9) es un servidor de video *streaming* para la realimentación visual que permite visualizar en tiempo real el desarrollo de la práctica ejecutada en el dispositivo real.

El servidor de *Web Services* (10) es el encargado de procesar los datos de las prácticas, ejecutarlas y enviar la respuesta al cliente. Para esto se comunica con la planta física (11) a través de la tarjeta de adquisición de datos. El software utilizado para ejecución de las prácticas es el MATLAB/Simulink.

El desarrollo de la práctica puede ser visualizado a través de una cámara *Webcam* (12) dedicada a la realimentación visual. Esta visualización es transmitida por *streaming* por medio del servidor de video (9).

El video y el resultado de la ejecución de la práctica conforman la respuesta de datos (13) en formato *XHTML*, devueltos a la aplicación cliente para que puedan ser visualizados por el usuario final. Todo el diseño del sitio es a través de hojas de estilos *CSS*²² (14) las que son usadas para definir la presentación de los resultados.

Interfaz de usuario

Como se ha planteado anteriormente, la interfaz de usuario es una de las partes fundamentales de un sistema por lo que se le debe prestar una especial atención. La interfaz de usuario se ha desarrollado con páginas HTML y PHP para el registro de usuarios y la administración y gestión del sitio web. También se ha hecho uso de funciones en JavaScript y de la tecnología AJAX.

El sistema está formado por dos tipos de interfaces bien definidas en su arquitectura mediante las cuales interactúan los usuarios registrados: una propia para los usuarios *Estudiante* y otra para los usuarios *Administrador*. Un usuario *Administrador* es por defecto un Usuario *Estudiante* por lo que puede pasar de un nivel de privilegio a otro con solo hacer clic en *Usar* o en *Administrar* en la barra de navegación.

En el diseño visual de la aplicación se utilizó el paquete de *Macromedia* para las interfaces gráficas, específicamente el editor gráfico *Firework 8* para la elaboración de logotipos, imágenes e iconos, así como el editor *Dreamweaver 8* y *UltraEdit* para la conformación de las diferentes páginas.

²² Las hojas de estilo en cascada, CSS (Cascading Style Sheets es un lenguaje usado para definir la presentación de un documento estructurado escrito en HTML, XML y XHTML.

La arquitectura general de una aplicación web es similar a un sistema cliente-servidor, aunque con algunas diferencias. Una de las principales diferencias es la distribución, donde los aspectos fundamentales a la configuración de la aplicación se encuentran en componentes del lado del servidor; ningún *software* específico, ni opciones adicionales son necesarias del lado del cliente [71]. Además, el principal protocolo de comunicación para las aplicaciones web es HTTP, el cual está diseñado para soportar conexiones no permanentes, haciendo robusto y sin fallos a múltiples instancias. También limita la comunicación directa de los objetos clientes con los objetos del servidor.

Basado en lo anterior, se decide que la aplicación se realizará con tecnología web, empleando una arquitectura de tres capas, como es común en varias aplicaciones de este tipo [96, 103]. Los diferentes componentes de la aplicación pueden estar ubicados en cualquiera de estas capas (Figura 4.11):

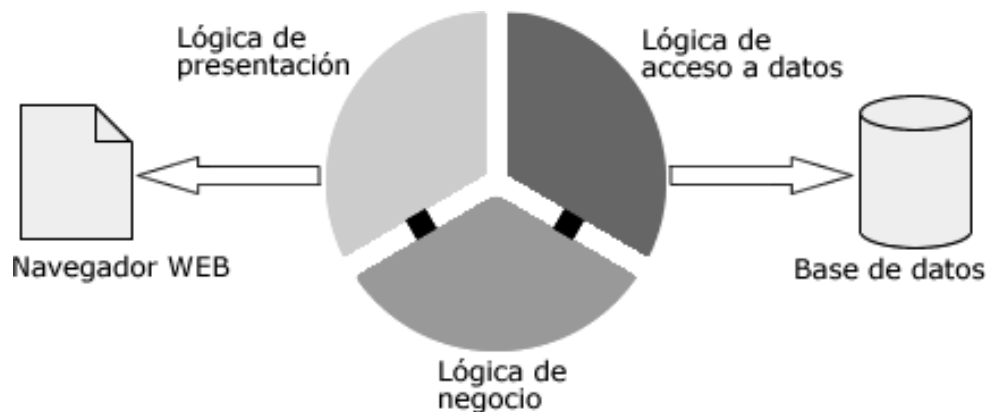


Figura 4.11 Arquitectura de tres capas implementada en el sistema SLD que permite la comunicación con la base de datos solo a través de la capa de acceso a datos, logrando una mayor seguridad e integridad de los datos.

- Lógica de presentación: interfaz de usuario, interacción con el usuario final, presentación de la información, entrada de datos.
- Lógica de negocio: reglas de negocio, validación de datos y tareas específicas de la aplicación.
- Lógica de acceso a datos: comunicación con la base de datos, construcción de sentencias SQL y su ejecución a través de los objetos creados.

Esta arquitectura posibilita la comunicación con la base de datos solo a través de la capa de acceso a datos, logrando una mayor seguridad e integridad de

los datos. Además, todas las reglas de negocio son procesadas y manipuladas por los objetos de la capa de negocio.

Las interfaces de los usuarios finales están formadas por los objetos de la capa de presentación. Igualmente al no existir comunicación directa entre la capa de presentación y la de acceso a datos, toda la comunicación es manipulada por la capa de negocio.

En la Figura 4.12 se muestra el esquema de la página web del sistema SLD diferenciando las principales zonas.

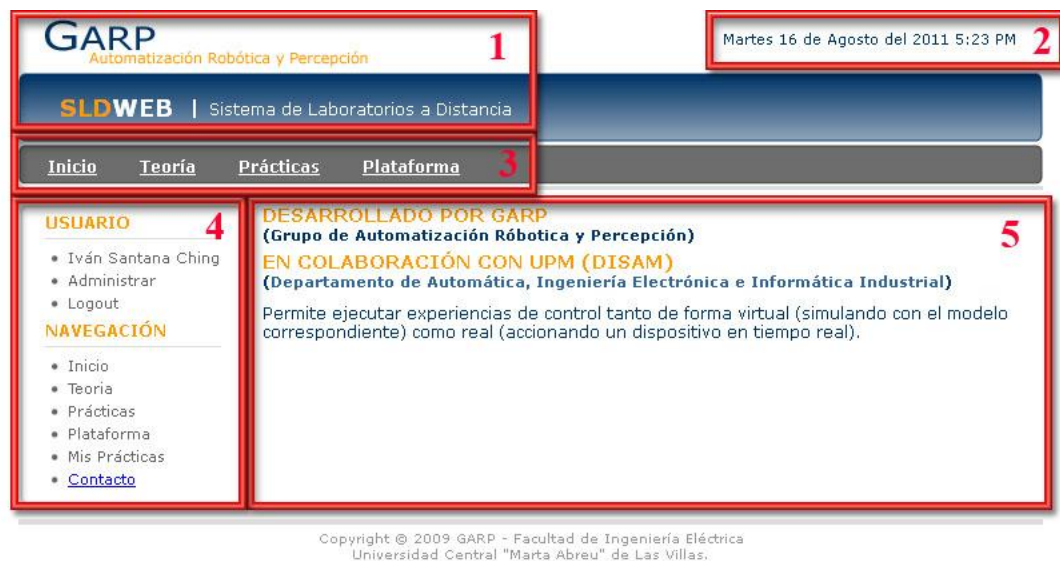


Figura 4.12 Esquema de la interfaz de usuarios del SLD. Principales zonas que la integran.

1. Logotipo del Sistema.
2. Fecha y hora.
3. Barra de navegación.
4. Formulario de autenticación, información del usuario, barra de navegación y opciones.
5. Cuerpo de la página.

Se puede acceder al sistema desde un ordenador con conexión a Internet usado cualquier navegador para web.

Como se ha planteado anteriormente, a la interfaz de usuario se le ha adicionado una realimentación visual en tiempo real con el objetivo de que el

usuario tenga información de la ejecución de las prácticas. Para esto se implementó un módulo de video *streaming*.

El *streaming* es la transmisión de vídeo hacia ordenadores receptores a través de Internet. Los usuarios pueden ver el vídeo conforme les van llegando los bits, sin la necesidad de esperar a que el fichero de vídeo se haya transmitido completamente. Para la transmisión en directo, es necesario un servidor de *streaming*. Esto se puede hacer por *unicast*²³ en directo, aunque también se puede realizar por *multicast*²⁴ (Multidifusión). La ventaja del método *multicast* es que se conserva el ancho de banda de la transmisión sea cual sea el número de usuarios que se añadan al grupo, por lo que solamente habría que reservar ese ancho de banda en cada rama de la red para el *stream*.

Para la implementación se emplean los Servicios de Windows Media. Este servicio permite crear, administrar y entregar contenidos de Windows Media en Internet.

Se utiliza una arquitectura en la que en un mismo ordenador se encuentran el software de codificación y el servidor de *streaming* (Figura 4.13). Si el servidor de *streaming* usa el protocolo HTTP, lo más corriente es usar el puerto 8080. Si usa el protocolo *mms* (*Microsoft Media Server*), se usará el puerto 1234.

Para mostrar el contenido multimedia en una página web existen dos formas. La primera es ejecutándose un reproductor multimedia fuera del navegador al hacer clic en algún enlace de la página web. La otra variante es mostrarlo incrustado (embebido) en el navegador.

La ventaja de que se abra un reproductor fuera del navegador es que el cliente puede seguir navegando a otros sitios mientras el reproductor reproduce el *stream*. Por eso se ha elegido la primera opción. Cuando el usuario hace clic en el enlace, el explorador descarga el metarchivo. Este metarchivo es enviado al Windows Media Player que se conecta al servidor y reproduce el *stream*.

²³ Unicast es el envío de información desde un único emisor a un único receptor.

²⁴ Multidifusión (multicast) es el envío de la información en una red a múltiples destinos simultáneamente.

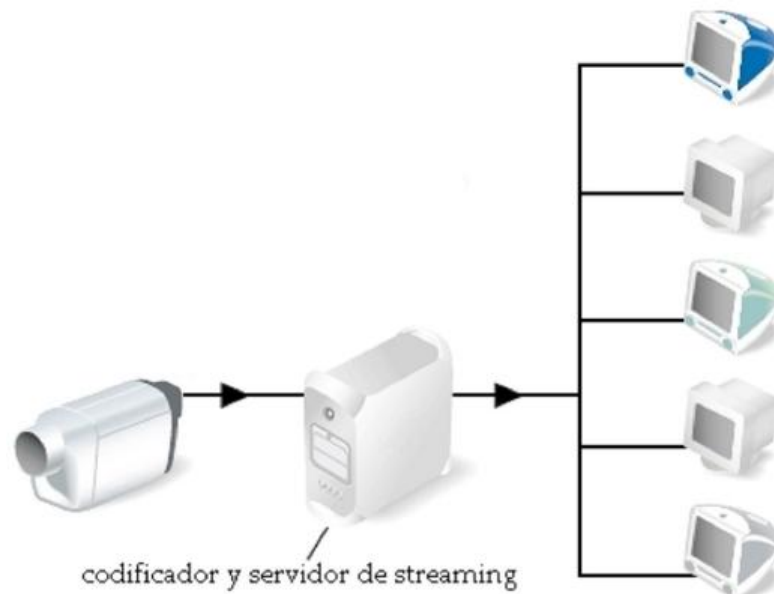


Figura 4.13 Arquitectura de video streaming. Para el protocolo HTTP se usa el puerto 8080. Para el protocolo mms se usa el puerto 1234.

Administración de prácticas

Esta parte de la plataforma tiene la función de tomar los pedidos de prácticas formulados por los usuarios, organizarlos por orden de llegada, conducirlos hasta el lugar donde serán procesados y, por último, transmitir los datos de respuesta a los usuarios que realizaron las peticiones de prácticas. Es decir, sirve de enlace entre la interfaz de usuario y la capa de procesamiento de prácticas.

El sistema permite el paralelismo en la ejecución de prácticas, es decir, la ejecución del mismo experimento en varias estaciones. Para esto, por supuesto, es necesario tener la misma planta, al menos similar, en varias estaciones de trabajo. Es importante destacar que una misma planta puede ejecutar varias prácticas diferentes.

Las estaciones están por defecto en espera (*wait*) en la base de datos a la espera de que llegue algún pedido de práctica para procesarla. Cuando llega una práctica la estación se pone en estado ocupado (*busy*) hasta terminar la ejecución de la práctica, momento que se vuelve a poner en espera (*wait*) de otro pedido.

Si todas las estaciones están apagadas se emite un mensaje de error. Teniendo en cuenta esto, cuando llega un pedido de práctica la capa de

administración elige que estación debe ejecutarla. Para esto se verifica si existen estaciones libres (*wait*) que puedan ejecutar la práctica y si es así se realiza la elección de manera aleatoria entre una de ellas. La estación elegida pasará al estado de ocupado (*busy*) y se incrementa la cantidad de elementos en la cola de la estación en uno.

En caso de que existan estaciones ocupadas (*busy*), se elige entre las que menos cantidad de elementos en la cola tengan. En caso de estar varias en estado ocupado, se realiza la elección de manera aleatoria entre una de ellas. La estación elegida continuaría en el estado de ocupado (*busy*) y se incrementaría la cantidad de elementos en la cola de la estación en uno. Si la estación o la comunicación con ella falla, pasa al estado de apagado (*off*) por cinco minutos. Esto se hace con el objetivo de que si hubo algún error en la comunicación con la estación esta pueda activarse automáticamente.

Es importante destacar que la cola es por estación, no por práctica, lo que quiere decir que en la cola de una estación pueden existir diferentes prácticas a ejecutar. El estado de las estaciones se mantiene actualizado en la base de datos.

El tiempo de espera de cada usuario depende del tiempo de ejecución de cada práctica y de la cantidad de estaciones que puedan ejecutarla. El tiempo de ejecución de cada práctica tiene una estrecha relación con la constante de tiempo del dispositivo real.

Actualmente se disponen ocho puestos en la UPM, cada uno equipado con una maqueta de un sistema térmico y una maqueta de un motor de corriente continua. En Cuba se dispone de un motor de corriente continua, un robot brazo manipulador y un robot paralelo. El motor de corriente continua, el brazo manipulador y el robot paralelo tienen una constante tiempo pequeña, mientras que el sistema térmico tiene una constante de tiempo más alta, por lo que las prácticas se demoran más en ejecutarse. Con el objetivo de evitar las altas demoras se muestra en cada momento el tiempo aproximado de espera, en caso de ser alto se sugiere realizar la práctica en otro momento y en caso de ser mayor de 6 minutos se deshabilita la práctica.

El Servidor de Administración de Prácticas (SAP) está formado por páginas PHP, lo cual hace al sistema más portable y seguro, pudiendo ejecutarse este nivel en sistemas operativos Windows o Linux. La comunicación del SAP con el

Cliente de Administración de Prácticas (CAP) se hace vía HTTP por el puerto 80 estándar, evitando el acceso a puertos potencialmente bloqueables por los firewall. Esto permite que las estaciones de trabajo puedan estar distribuidas en redes de área extensa (WAN) como es el caso de Internet, teniendo así un alcance global.

Procesamiento de prácticas

El otro elemento que conforma el sistema es el Cliente de Administración de Prácticas (CAP), el cual se ha implementado con *Web Services*. El CAP debe estar presente en todas las estaciones que se conectan a la planta real y también puede estar presente en el servidor web. El CAP se encarga de comunicarse con MATLAB/Simulink el cual ejecuta las prácticas tanto reales como simuladas. Esta comunicación se hace vía COM²⁵ (*Component Object Model*).

El sistema realiza las prácticas con MATLAB/Simulink y *Real Time Windows Target* debido a la facilidad de uso y las potentes capacidades de este software. El software *Real Time Workshop* proporciona la conexión en tiempo real con el sistema de adquisición de datos, mientras que *Real Time Windows Target* permite la ejecución del esquema Simulink en tiempo real sobre Windows. El hecho de ejecutar directamente un esquema Simulink supone ventajas, ya que el tiempo y la complejidad de crear nuevos algoritmos de control se reducen drásticamente y permite una fácil creación y modificación de esquemas de control.

Una vez que la práctica ha sido procesada los resultados son subidos al servidor web que se encarga de mostrarlos mediante la interfaz de usuarios. Generalmente en cada práctica se obtiene una página web de resultados, gráficas de las ejecuciones y un fichero de resultados.

4.3.2 Diseño de la base de datos

La capa de datos será la encargada de gestionar el almacenamiento de la información requerida. A partir del modelo conceptual se puede obtener un modelo lógico de cómo serán almacenados los datos del sistema. En la Figura

²⁵ Component Object Model (COM) es una plataforma de Microsoft para componentes de software. Esta plataforma es utilizada para permitir la comunicación entre procesos y la creación dinámica de objetos, en cualquier lenguaje de programación que soporte dicha tecnología.

4.14 se muestra el modelo lógico de la base de datos donde se puede apreciar cómo se distribuye la información. Los campos marcados como PK indican que se trata de una clave primaria.

La base de datos está formada por siete tablas: *sld_practices*, contiene los datos de todas prácticas realizadas por los usuarios; *sld_practices_data*, contiene todas las prácticas disponibles en el sistema, su nombre, el tipo de práctica, etc.; *sld_station*, contiene la relación de todas las estaciones de trabajo del sistema, su estado, las prácticas que se pueden realizar en ella, etc.; *sld_users*, contiene los datos de todos los usuarios registrados en el sistema, así como su *login* y *password*; *sld_users_groups*, contiene todos los grupos de usuarios realizados para los tiempos de laboratorio; *calendar_tasks*, contiene la relación de las reservas de laboratorio; *comments*, contiene todos los comentarios realizados por los estudiantes y profesores para cada práctica.

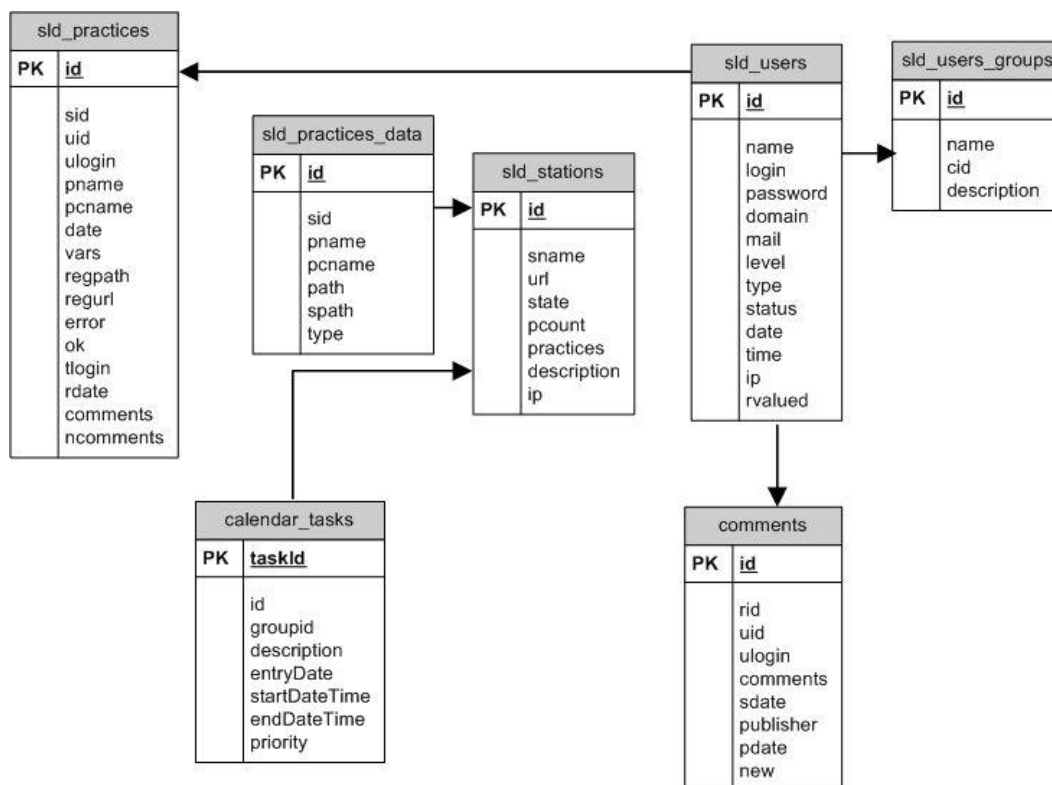


Figura 4.14 Modelo Lógico de la Base de Datos. La tabla *sld_practices*, contiene los datos de todas prácticas realizadas por los estudiantes.

Una de las tablas más importantes del sistema es *sld_users* pues almacena la información de todos los usuarios registrados. El campo *name* almacena el nombre del usuario y el campo *login* el nombre de usuario en el sistema.

Mientras que la contraseña de cada usuario es almacenado en el campo *password*. En esta tabla se almacena tanto la fecha (*date*) como la hora (*time*) de acceso al sistema. Hay que destacar que en esta tabla se verifica que no se repita ni el nombre (*name*) ni el nombre de usuario (*login*).

Otra tabla de gran importancia en el sistema es *sld_practices_data*. Esta tabla almacena todos los datos de las prácticas que se desarrollan en el sistema. El campo *pname* almacena el nombre abreviado de la práctica, mientras que en *pcname* se guarda el nombre completo de la práctica, este será el que luego se visualizará en la página de prácticas del sistema. En el campo *type* se define el tipo de práctica, si es simulada o real.

En la tabla *sld_station* se relacionan todas las estaciones disponibles en el sistema, además de las prácticas que se pueden realizar en cada una de estas estaciones. Es una tabla fundamental para poder desarrollar la propiedad de paralelismo del sistema. Además con los datos de esta práctica se desarrolla la aplicación que muestra el tiempo de espera para cada práctica. El campo *state* representa el estado de la estación apagada, en espera u ocupada (*off*, *wait*, *busy*).

CAPÍTULO 5 PLANIFICACIÓN DE LA ASIGNATURA REGULACIÓN AUTOMÁTICA

Esta tesis tiene su aplicación directa en las asignaturas de Regulación Automática de la titulación de Ingeniero Industrial con intensificación en Automática y Electrónica y en Ingeniería Eléctrica, y en la asignatura Control por Computador de la titulación de Ingeniero en Automática y Electrónica Industrial. Esta asignatura también se imparte en el Máster en Automática y Robótica, el Máster en Electrónica Industrial y el Máster de Ingeniería Eléctrica.

Las asignaturas comparten el mismo temario, teniendo 4,8 créditos ECTS. Por conveniencia se le continuará llamando Regulación Automática. Estas asignaturas cuentan con 120 alumnos aproximadamente cada curso. Las materias estudiadas están estrechamente relacionadas con el control de sistemas físicos.

Para los nuevos planes de estudio en la ETSI Industriales de la UPM la asignatura Control con Computador asume los contenidos de Regulación Automática. Esta asignatura se leerá en el sexto semestre del Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática y en el octavo semestre del Grado de Ingeniería en Tecnologías Industriales en la Especialidad de Electrónica – Automática.

En la presente tesis se analizará una metodología docente que permite la combinación de actividades presenciales y a distancia. En este capítulo se verán las actividades desarrolladas en clases.

5.1 Organización de la asignatura

La asignatura Regulación Automática es continuación de la asignatura Teoría de Sistemas en la que el alumno estudia por primera vez los sistemas de control para sistemas continuos. Por su parte, Regulación Automática se centra en los sistemas y reguladores discretos (PID).

Los contenidos de Regulación Automática se han ajustado para cubrir los aspectos importantes de la asignatura, a la vez que supongan una carga realista con las actividades y dedicación del estudiante a la misma [73]. La asignatura está programada en 144 horas de trabajo del alumno, lo que equivale a 4,8 créditos ECTS (Tabla 5.1).

Actividades	Horas en clases	Horas fuera de clases	Factor de trabajo	Horas de estudio	Horas totales del alumno	ECTS (horas/30)
Clases de teoría	20	-	2	40	60	2,00
Solución de problemas	10	-	1,5	15	25	0,83
Trabajos prácticos en el laboratorio	16	-	0,5	8	24	0,80
Trabajos prácticos de forma remota	-	-	1	6	6	0,20
Proyecto integrado de control	4	-	4	16	20	0,67
Tutorías	-	4	-	-	4	0,13
Seminarios	-	2	-	-	2	0,07
Exámenes	-	3	-	-	3	0,10
Totales	50	9	-	85	144	4,80

Tabla 5.1 Actividades y horas previstas de estudio del alumno durante el cuatrimestre. Las actividades se pueden dividir en presenciales y a distancia.

Del análisis de la tabla se aprecian dos tipos de actividades, las presenciales y las realizadas a distancia. Dentro de las actividades presenciales se encuentran las clases de teoría, la solución de problemas, los trabajos prácticos en el laboratorio, la indicación del proyecto integrado, las tutorías, los seminarios y los exámenes. Mientras que los trabajos prácticos de forma remota y la realización del proyecto integrado se realizan a distancia a través de la plataforma SLD.

El punto más delicado de esta programación son las horas de estudio del alumno. Esta dedicación equivale a cuatro horas semanales durante el cuatrimestre, o lo que es igual una tarde a la semana dedicada al estudio de la asignatura. Los profesores de la asignatura consideran importante motivar al alumno para que realicen este trabajo todas las semanas, para ello al final de cada semana se propone la realización de unos ejercicios que deberán entregar al comenzar la semana siguiente. La corrección de todos estos ejercicios implica una gran carga de trabajo para el profesor, pero garantiza un estudio continuado de la asignatura.

Adicionalmente el alumno debe dedicar tiempo de estudio a la realización de las actividades a distancia. Estas actividades contribuyen a la formación de los estudiantes. En el próximo capítulo serán explicadas en detalle las actividades realizadas a distancia

Para un mejor análisis de las horas de estudio de los alumnos se muestra en el gráfico de la Figura 5.1 las actividades y las horas dedicadas.



Figura 5.1 Actividades y horas de estudio dedicadas por los alumnos. Se distinguen las actividades presenciales y a distancia.

Carga de trabajo del profesor

Como se ha visto en el Capítulo 2 el cambio de paradigma metodológico a raíz de la implantación del Espacio Europeo de Educación Superior (EEES) implica que el éxito del proceso formativo de un alumno radica en que el proceso de aprendizaje se lleve a cabo fundamentalmente a través del estudio y trabajo

autónomo del propio sujeto. Este cambio, que sitúa al estudiante en el centro del proceso de enseñanza-aprendizaje, implica todo un conjunto de adaptaciones, entre las que destaca las modificaciones en las metodologías docentes. Debido a que el estudiante tiene que dedicar un número elevado de horas al estudio individual fuera del aula y con el objetivo de que este estudio sea lo más productivo posible, el profesor le ha de facilitar las documentaciones, herramientas y técnicas de trabajo necesarios. Por lo tanto, este cambio no sólo afecta a los alumnos sino también a los profesores.

Con el objetivo de valorar la carga de trabajo del profesor, en la Tabla 5.2 se resumen las actividades y horas totales de trabajo durante el curso según la opinión de los docentes de la asignatura.

Actividades	Horas de clases	Horas fuera de clases	Factor de trabajo	Horas de trabajo del profesor	Horas totales del profesor
Clases de teoría	20	-	2	40	60
Solución de problemas	10	-	2	20	30
Trabajos prácticos en el laboratorio	16	-	2	32	48
Trabajos prácticos de forma remota	-	-	2	12	12
Proyecto integrado de control	4	-	5	20	24
Tutorías ²⁶	-	4	20	80	80
Seminarios	-	2	2	4	6
Otras actividades (visitas, análisis bibliográfico)	-	2	2	24	26
Exámenes	-	3	20	60	63
Totales	50	11	-	292	349

Tabla 5.2 Actividades y horas de trabajo de los profesores durante el cuatrimestre.

²⁶ Las tutorías están planificadas en 4 horas por alumno en el cuatrimestre. Se ha tenido en cuenta que cada profesor de la asignatura atiende aproximadamente unos 20 alumnos.

5.2 Actividades presenciales desarrolladas en la asignatura

Las actividades de Regulación Automática desarrolladas en clases son las clases de teoría, la solución de problemas y la orientación del proyecto integrado. En la Tabla 5.3 se muestran los temas desarrollados en la asignatura.

Capítulo	Trabajo práctico
Secuencias y sistemas discretos	
Transformada de secuencias. Modelado de Sistemas	T1- Introducción a sistemas discretos
Muestreo y reconstrucción	T2- Muestreo
Sistemas muestreados	T3- Sistemas híbridos
Estabilidad de sistemas discretos	
Análisis dinámico de sistemas discretos	T4- Análisis dinámico
Identificación de sistemas físicos	T5-Identificación
Sistemas discretos realimentados	
Discretización de reguladores continuos. Reguladores PID discretos	T6- Diseño de reguladores
Diseño de reguladores discretos mediante el Lugar de las Raíces	
Síntesis directa de reguladores discretos	
Reguladores PID industriales	T7- Implementación de reguladores
Sintonía y autosintonía de reguladores	
Ingeniería de control: esquemas avanzados	T8- Realimentación múltiple

Tabla 5.3 Temario de la asignatura Regulación Automática. Trabajos prácticos desarrollados por cada tema de la asignatura.

Las clases de teoría están enfocadas a enseñar los contenidos teóricos. Se desarrollan en un aula común de clases y tienen una duración de dos horas.

Los contenidos son generalmente mostrados mediante presentaciones. Todos los contenidos se encuentran en un libro preparado por los profesores [21], además se sugiere bibliografía complementaria.

Las actividades de solución de problemas se desarrollan igualmente en el aula pero tiene como objetivo principal motivar a los estudiantes desarrollando problemas interesantes de la ingeniería del control sobre los correspondientes temas. Estos problemas van aumentando su complejidad a medida que avanza el curso, generalmente el alumno que lleva al día el trabajo de la asignatura considera que los problemas propuestos son sencillos de realizar. Sin embargo, la solución de problemas va preparando a los alumnos para el examen final de la asignatura a la vez que representa un punto adicional en la nota final.

Las tutorías, los seminarios y las evaluaciones forman parte también en el plan del curso. Se ha incluido la realización de un seminario, ya que suele ser habitual contar en el departamento con la presencia de algún especialista en el área de la ingeniería del control a lo largo del cuatrimestre. Resulta instructivo para los alumnos que estas personas cuenten su punto de vista sobre los temas tratados en la asignatura. Las visitas a otros centros relacionados con el área de la Automática también suelen realizarse a lo largo del curso. Las tutorías han sido cuantificadas con una media de cuatro horas por alumno, igualmente se han previsto cuatro horas para la realización del examen de la asignatura.

El examen final de la asignatura es de tipo test y abarca los temas impartidos así como las actividades prácticas. Las cuestiones incluidas en este examen son semejantes a las realizadas a lo largo del semestre.

5.3 Preparación de problemas para la evaluación continua del alumno

Los trabajos prácticos en el laboratorio tienen como objetivo que los alumnos realicen el modelado y control de sistemas y analicen los resultados. Para esto se dividen en trabajos realizados en las aulas informáticas y trabajos desarrollados en los laboratorios con sistemas físicos reales.

Como se ha visto, la evaluación continua es un elemento formativo relevante en el aprendizaje del alumno. Las actividades de evaluación continua permiten consolidar conocimientos y desarrollar y poner en práctica habilidades

relacionadas con los resultados del aprendizaje de la asignatura y las competencias asignadas. La evaluación continua proporciona información al estudiante sobre su proceso de aprendizaje. Además, provee elementos de apoyo y reconocimiento del trabajo del alumno contribuyendo en su calificación global en la asignatura.

Para realizar un seguimiento de los alumnos de la asignatura Regulación Automática se ha diseñado una colección de problemas relacionados con la materia impartida en clase. Para su resolución será necesario el estudio de la asignatura. El objetivo es distribuir las horas de trabajo del alumno durante el cuatrimestre.

Se proponen ejercicios de autoevaluación usando AulaWeb [76, 78, 79]. Se han elaborado más de 140 cuestiones. El alumno deberá responder una cierta cantidad de cuestiones asignadas aleatoriamente durante el desarrollo de la actividad en el aula informática.

La tabla de la Figura 5.2 permite ver la cantidad de entregas en cada ejercicio así como la nota media obtenida por los alumnos de un grupo en específico. Esto posibilita al profesor saber el tema donde tiene que hacer mayor hincapié en cada grupo de la asignatura. Como se puede apreciar el apartado T6_Diseño de Reguladores es el tema con mayores dificultades, precisamente por ser uno de los más complejos de la asignatura.

Sel.	Código	Título	Autor	Tipo	Grupo	Registro	Nº preg.	Fecha límite	NA	NE	Media	AE	Activo
<input type="checkbox"/>	RN1001	Cuestiones C1 y C2	mferre	Plantilla	3E2_II	Total	10	21/02/2011	25	25	8,6	✓	✓
<input type="checkbox"/>	RN1002	T1_Introducción a sistemas discretos	mferre	Plantilla	3E2_II	Total	10	21/02/2011	25	25	8,88	✓	✓
<input type="checkbox"/>	RN1003	T8 - Realimentación Múltiple	mferre	Fijo	3E2_II	Total	5	11/05/2011	30	30	9,67	✓	✗
<input type="checkbox"/>	RN1004	Teoría 12-13	mferre	Plantilla	3E2_II	Total	6	28/04/2011	0	0	-	✓	✗
<input type="checkbox"/>	RN1005	T2_Muestreo_E1	mferre	Fijo	3E2_II	Total	18	23/02/2011	18	18	9,35	✓	✓
<input type="checkbox"/>	RN1006	T2_Muestreo_E2	mferre	Fijo	3E2_II	Total	18	23/02/2011	15	15	9,59	✓	✓
<input type="checkbox"/>	RN1007	C3_Teoría	mferre	Plantilla	3E2_II	Total	5	23/02/2011	34	34	9,18	✓	✓
<input type="checkbox"/>	RN1008	T6_Diseño de Reguladores	mferre	Plantilla	3E2_II	Total	8	27/04/2011	29	29	7,5	✓	✓
<input type="checkbox"/>	RN1010	C4_Sistemas Muestreados_Teoría	mferre	Plantilla	3E2_II	Total	5	2/03/2011	34	34	9,29	✓	✓
<input type="checkbox"/>	RN1011	C5 y C6	mferre	Plantilla	3E2_II	Total	7	23/03/2011	33	33	9,22	✓	✓
<input type="checkbox"/>	RN1012	T4_Análisis Dinámico	mferre	Plantilla	3E2_II	Total	7	23/03/2011	17	17	8,32	✓	✓
<input type="checkbox"/>	RN1013	T3-SistemasMuestreados-E1	mferre	Fijo	3E2_II	Total	17	2/03/2011	18	18	9,28	✓	✓
<input type="checkbox"/>	RN1014	T3-SistemasMuestreados-E2	mferre	Fijo	3E2_II	Total	15	2/03/2011	17	17	9,33	✓	✓
<input type="checkbox"/>	RN1015	C7_Sistemas Realimentados	mferre	Plantilla	3E2_II	Total	5	27/04/2011	29	29	9,24	✓	✓
<input type="checkbox"/> Seleccionar todos / ninguno													

Figura 5.2 Tabla de ejercicios de autoevaluación planificados que permite ver las entregas y la nota media obtenida por los alumnos.

AulaWeb muestra también a cada alumno la calificación cuando acaba un ejercicio, así como en qué preguntas ha tenido errores. Esto permite al estudiante saber dónde tiene que centrar su estudio. En el curso 2010-2011 se

realizaron un total de 11 ejercicios por cada alumno. La Figura 5.3 muestra los resultados obtenidos por un estudiante a lo largo del curso según la vista del profesor. Una información muy semejante está activa para el alumno para que pueda evaluar su trabajo en el curso en todo momento. Esta información es muy importante para el profesor pues le permite particularizar el aprendizaje de un estudiante en específico sabiendo los temas que más le cuestan.

Como se puede apreciar las mayores dificultades de este alumno se centran en el ejercicio 9 relacionado con el Tema 4, Análisis dinámico de sistemas discretos. Esta pregunta puede ser realizada nuevamente hasta que el estudiante considere que ha adquirido los conocimientos requeridos.

Ejercicios programados realizados											
N°	Código	Tipo	Variante	Fecha	Tiempo	AE	N° Preg.	Bien	Mal	S/C	NOTA
1	RN1001	No resta	54275149	16/02/2011	8	✓	10	10	0	0	10
2	RN1002	No resta	20353335	16/02/2011	48	✓	10	10	0	0	10
3	RN1003	No resta	2926272	11/05/2011	0	✓	5	5	0	0	10
4	RN1006	No resta	90047853	23/02/2011	19	✓	18	18	0	0	10
5	RN1007	No resta	72159975	23/02/2011	7	✓	5	4	1	0	8
6	RN1008	No resta	58942812	27/04/2011	57	✓	8	8	0	0	10
7	RN1010	No resta	16114443	02/03/2011	0	✓	5	5	0	0	10
8	RN1011	No resta	55337160	23/03/2011	5	✓	7	6	1	0	8,57
9	RN1012	No resta	23983401	23/03/2011	0	✓	7	4	3	0	5,71
10	RN1014	No resta	69149416	02/03/2011	0	✓	15	15	0	0	10
11	RN1015	No resta	86660402	27/04/2011	0	✓	5	5	0	0	10
Porcentaje total de aciertos							95	90	5	0	94,74%
Nota media (sobre 11 ejercicios realizados)										9,3

Figura 5.3 *Tabla de resultado de los ejercicios de autoevaluación realizados por un alumno. Permite ver en qué temas el estudiante tiene dificultades.*

También el profesor puede hacer un análisis general de los resultados del grupo (Figura 5.4).

Resultados de los ejercicios de autoevaluación	
Datos generales	Histograma de notas
Alumnos participantes: 42 de 49	-10-<0 0 (0%)
Ejercicios realizados: 387	0 - <1 5 (1%)
Media de ejercicios por alumno: 9,21	1 - <2 1 (0%)
	2 - <3 2 (1%)
	3 - <4 2 (1%)
	4 - <5 1 (0%)
	5 - <6 6 (2%)
	6 - <7 23 (6%)
	7 - <8 23 (6%)
	8 - <9 76 (20%)
	9 - 10 248 (64%)
Total preguntas: 3460	
Correctas 3089 (89%)	
Incorrectas 319 (9%)	
Sin responder 52 (2%)	
Índice de aciertos: 8,93	
Nota media por ejercicios: 8,87	

Figura 5.4 *Resultados de los ejercicios de autoevaluación de un grupo en el curso. Muestra estadísticas muy útiles para el profesor.*

En este histograma se muestran los resultados más relevantes de las autoevaluaciones.

AulaWeb presenta diferentes tipos de cuestiones a desarrollar [76, 136]:

- Selección simple (SS): test de única respuesta entre varias opciones.
- Selección múltiple (SM): test de respuesta múltiple entre varias opciones.
- Verdadero/falso (VF): respuesta (binaria).
- Numérica entera (NE): respuesta numérica entero.
- Numérica real (NR): respuesta numérica real.
- Cadena (CA): respuesta de cadena de caracteres.
- Enunciado variable (VA): enunciado con datos parametrizables.
- Código (CO): respuesta de código de programa.

En la asignatura las preguntas más utilizadas son las de selección simple, selección múltiple, cadena y las numéricas. De acuerdo al objetivo de las preguntas se clasifican en la asignatura como:

- Teóricas: son preguntas referidas a conceptos importantes de la asignatura (Figura 5.5).

Enunciado
¿Qué es una secuencia de ponderación?

Respuesta
Marca la respuesta correcta:

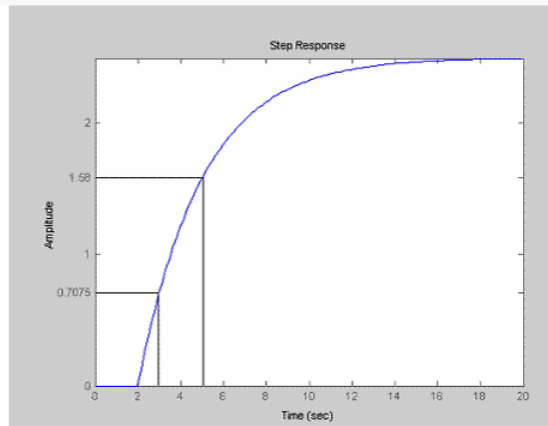
1. ☐ Es la secuencia de salida del sistema cuando la secuencia de entrada es la secuencia impulso.
2. ☐ Es la secuencia de entrada estandar para analizar un sistema.
3. ☐ Es la secuencia ponderada de las secuencias de salida del sistema ante distintas entradas.

Figura 5.5 Ejemplo de cuestión de teoría. Es una pregunta de selección simple que comprueba los conocimientos teóricos.

- Problemas: son preguntas donde su resolución requiere de cálculos matemáticos explicados en clases (Figura 5.6).

Enunciado

A partir de la gráfica y con ayuda de las tablas identifica la función de transferencia $G(s)$: (Responder con la letra de la opción elegida)



- a) $\frac{2.5 e^{-3s}}{4s + 1}$ b) $\frac{2.5}{(3s + 1)(5s + 1)}$ c) $\frac{2.5 e^{2s}}{3s + 1}$

Respuesta

Introduce la respuesta:

Figura 5.6 Ejemplo de cuestión que requiere cálculos matemáticos. El alumno elige una opción según los cálculos realizados.

- Numéricas: son preguntas que necesitan ser resueltas con las herramientas informáticas que se imparten en la asignatura, principalmente con Matlab (Figura 5.7).

Enunciado

Obtener mediante rtool un regulador para que el sistema: $G(z) = 1/(z^2 - 1.3z + 0.4)$ y $T = 0.1$ tenga: $M_p = 20\%$ $t_s = 2.5$ $ep = 0\%$.

Respuesta

Marca la respuesta correcta:

- ☐ $0.05(z - 0.618)/(z - 1)$
- ☐ $(z - 0.618)/(z - 1)$
- ☐ $0.05(z - 0.41)/(z - 1)$

Figura 5.7 Ejemplo de cuestión que requiere uso de herramientas informáticas como el MATLAB. Se realiza mediante selección simple.

A modo de resumen, en los cursos académicos en los que se desarrolló la investigación 305 estudiantes realizaron ejercicios de autoevaluación. Se finalizaron 2462 ejercicios para una media por alumno de 8,07 ejercicios. En cuanto a las preguntas se realizaron un total de 21781, de las cuales 19735 fueron correctas para un índice medio de acierto de 9,09. La nota media obtenida por los alumnos en los ejercicios de autoevaluación fue de 9,01.

Históricamente las mayores dificultades en los ejercicios de autoevaluación se encuentran el tema

5.4 Adquisición de competencias mediante el control de sistemas físicos reales en el laboratorio

La docencia de las asignaturas de Automática se refuerza significativamente cuando los alumnos pueden interaccionar directamente con sistemas reales; habitualmente esto se realiza mediante prácticas de laboratorio como se ha visto en el capítulo 2.

A lo largo de los cursos que abarcan esta investigación, se han incrementado significativamente las actividades prácticas de los alumnos con el objetivo de que se involucren en una formación mucho más activa.

El laboratorio de automática está formado por 8 puestos equipados con un ordenador con tarjeta de adquisición y dos sistemas físicos, un sistema térmico y un motor de corriente continua (Figura 5.8).

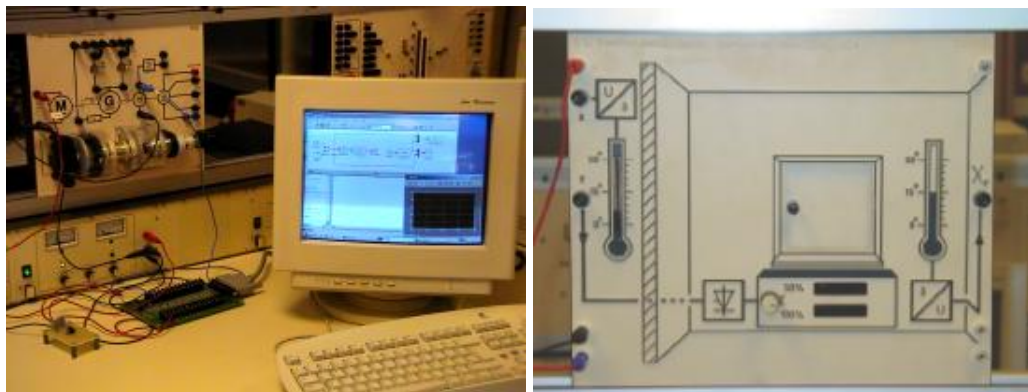


Figura 5.8 Equipos utilizados por los estudiantes en el laboratorio. Motor de corriente continua (izquierda) y sistema térmico (derecha).

A través de estas actividades se persigue la formación de competencias transversales en el alumno, especialmente en la capacidad de diseñar sus propios experimentos y llevarlos a cabo, así como analizar e interpretar los resultados obtenidos. También desarrollar sus habilidades en la interacción con equipos reales.

Además las actividades prácticas permiten que el alumno adquiera las competencias específicas vistas en el Capítulo 2. Para el caso de esta

asignatura se logra la adquisición de la competencia *Conocimiento y capacidad para el modelado y simulación de sistemas* pues se realizan prácticas de laboratorio sobre modelado físico de un proceso e identificación de un sistema lineal. También se realizan prácticas relacionadas con la sintonía y diseño de reguladores, un aspecto práctico de gran importancia presente en la competencia *Conocimientos de regulación automática y técnicas de control y su aplicación a la automatización industrial*.

Las actividades prácticas que complementan la adquisición de competencias en la asignatura, en este caso la competencia *Capacidad para diseñar sistemas de control y automatización industrial*, están enfocadas a la configuración y uso de dispositivos de adquisición de datos, el procesamiento de señales y el diseño de controladores discretos.

La maqueta del sistema térmico

En la maqueta del sistema térmico la variable de proceso es la temperatura del interior de una habitación. El sistema está formado por las siguientes señales:

- Variable manipulada Y: señal de entrada al sistema. Suministra la señal de excitación para el sistema calefactor, es una señal analógica con rango de 0 a 10 voltios.
- Variable de proceso Xr: señal de salida del sistema. Proporciona el valor de la temperatura del interior de la habitación, es una señal analógica con rango de 0 a 10 voltios.
- Variable de proceso Z: proporciona el valor de la temperatura exterior de la habitación, es una señal analógica con rango de 0 a 10 voltios.

Además contiene una ventana que se puede abrir y cerrar a voluntad.

En la maqueta la variable Z y la ventana han sido modificadas con el objetivo de poder perturbar al sistema de forma remota. La señal Z permite variar la temperatura exterior de 0-30°C lo que se corresponde con una variación de 0-10 voltios, mientras que la ventana puede ser abierta o cerrada por medio de interruptor.

La función de transferencia teórica utilizada en las prácticas simuladas se muestra en (5.1).

$$G(s) = \frac{0.9}{(1 + 7s)^3} \quad (5.1)$$

La maqueta del motor de corriente continua

La maqueta del motor de corriente continua dispone de una entrada para la excitación del inducido del motor de un valor máximo de 24 voltios; la inversión de la polaridad de esta tensión producirá el cambio de giro del motor.

Acoplado al motor se encuentra un generador para, mediante el giro del eje del motor, poder generar una tensión continua de hasta 12 voltios con una potencia máxima 15 W. A la salida del generador se disponen de dos lámparas de 12 voltios/5 W que pueden conectarse —a modo de carga— de manera individual o en paralelo.

La velocidad de giro del eje se mide a través de la taco-generatriz que proporciona una señal de 4.3 voltios/1000rpm.

La posición del eje del motor se mide a través de un encoder óptico digital de tres canales: dos en cuadratura (A/B) y uno de paso por cero (Z). La resolución es de 500 pulsos por revolución. El encoder requiere de una alimentación externa de 5 voltios de continua.

5.4.1 Trabajos prácticos en el laboratorio

Para desarrollar las actividades prácticas, como ya se ha indicado, los estudiantes deben realizar primeramente preguntas de autoevaluación relacionadas con el tema. Se realiza igualmente una reserva del tiempo de laboratorio el cual se organiza en sesiones de 4 horas. Generalmente esto representa una alta carga de trabajo para los profesores debido a que es necesario de 5 a 6 tardes para poder cubrir el total de alumnos. Los estudiantes reciben con anterioridad el guión de la actividad a desarrollar mediante AulaWeb. Al comienzo de cada práctica el profesor hace una explicación de la actividad que se va desarrollar. En estas actividades el tiempo es muy justo, generalmente el estudiante solo puede realizar los puntos programados en el guión y no queda posibilidad de que experimenten otras variantes. Finalmente el estudiante elabora un informe que entrega antes de una fecha límite vía AulaWeb.

Los objetivos de las prácticas de laboratorio son la identificación de los sistemas físicos y el diseño de reguladores discretos que cumplan las especificaciones requeridas.

A lo largo del curso se realizan tres actividades en el laboratorio. En todas las actividades prácticas se hace uso de MATLAB y Simulink, así como *Real-Time Workshop* y *Real-Time Windows Target* para la compilación y la ejecución en tiempo real de modelos de Simulink. Además se hace uso de otras herramientas de diseño como *rltool*, *sisotool* e *ident*.

En la primera actividad se pretende analizar el comportamiento de un sistema térmico en bucle abierto, en bucle cerrado y, finalmente, implementar un regulador continuo que mejore su comportamiento. En esta práctica se podrán analizar los conceptos teóricos estudiados en la asignatura precedente de Teoría de Sistemas, haciendo uso de las herramientas MATLAB y Simulink. El objetivo principal de esta práctica es familiarizar a los estudiantes con el sistema térmico, que aprendan a realizar las conexiones necesarias y desarrollar la implementación de ensayos en tiempo real. Con el objetivo de que los estudiantes puedan ampliar sus conocimientos y probar nuevos ensayos, esta práctica se puede realizar igualmente por acceso remoto.

La segunda actividad tiene como objetivo principal la identificación de un sistema físico. En este caso se utiliza el motor de corriente continua. Los estudiantes nuevamente se familiarizan con las conexiones del sistema y aplican los conocimientos adquiridos en la implementación de ensayos en tiempo real. De igual forma hacen uso de herramientas de identificación de sistemas como el caso de *ident*. Con vistas a ampliar sus conocimientos esta actividad se vincula con una práctica remota.

La tercera actividad del curso tiene como objetivo principal el diseño y puesta en funcionamiento de reguladores discretos para controlar el funcionamiento de un sistema continuo. En este caso se utiliza el sistema térmico. El estudiante tiene que aplicar los conocimientos adquiridos en el diseño de reguladores a un sistema ya bien conocido por ellos. Esta actividad, siguiendo la metodología diseñada y defendida en este trabajo, ha evolucionado al punto de realizarse ya completamente mediante una práctica remota. Se suele utilizar el horario presencial para mostrar a los alumnos otro software de control de gran interés como es LabVIEW.

5.5 Metodología docente utilizada a lo largo de la asignatura

Permitir la realización de prácticas de forma presencial y remota se considera un gran avance para el estudio de las asignaturas de control ya que se combinan las ventajas de ambas metodologías. La realización presencial de prácticas en el laboratorio tiene un gran valor formativo para los alumnos, permitiéndole conocer y manipular los equipos físicos con los que trabaja. Una vez que el alumno está familiarizado con los sistemas que utiliza puede trabajar con ellos a distancia, con las ventajas que ello conlleva de puesta a punto de los equipos y optimización de los recursos. El tiempo efectivo de uso de los equipos suele ser reducido, ya que la programación y captura de datos suele requerir entre 10 y 20 minutos. La realización de trabajos a distancia ahorra tiempo para el alumno a la vez que favorece el uso compartido de recursos. Este es un punto especialmente interesante cuando existe un gran número de alumnos cursando las asignaturas, además los equipos utilizados tienen un elevado coste. Otro aspecto de interés que surge al combinar prácticas presenciales y a distancia es que no se limita el tiempo de utilización de los equipos, los alumnos pueden utilizarlos sin restricciones de tiempo hasta que consideren que han alcanzado los objetivos deseados.

CAPÍTULO 6 TRABAJOS PRÁCTICOS A DISTANCIA

En el capítulo anterior se analizó la metodología docente aplicada a la asignatura Regulación Automática. Uno de los puntos fundamentales en esa metodología lo constituyen los trabajos prácticos a distancia: las prácticas de laboratorio remotas y el proyecto integrado. Como ya se comentó anteriormente, se ha utilizado la plataforma Sistema de Laboratorios a Distancia (SLD) para los trabajos prácticos a distancia. Las prácticas remotas desarrolladas para la asignatura de Regulación Automática acceden a las maquetas ubicadas en el laboratorio de automática: el sistema térmico y el motor de corriente continua. En este capítulo se describirán además las prácticas implementadas para el desarrollo del proyecto integrado.

6.1 Clasificación de las prácticas remotas en el SLD

El SLD permite implementar dos tipos prácticas [175, 181]:

- **Prácticas paramétricas:** el usuario solo puede modificar ciertos parámetros, como pueden ser las ganancias de un regulador PID, la amplitud de un escalón, etc.
- **Prácticas con cambio de estrategia:** el usuario tiene la posibilidad de realizar cambios en algunos bloques del modelo del sistema, como puede ser el regulador, las referencias, etc. Tras descargarse el modelo de Simulink correspondiente, el usuario realiza las modificaciones pertinentes haciendo uso de los bloques de Simulink. Se pueden realizar igualmente cambios en otros parámetros avanzados, como el tiempo de ejecución, el tiempo de muestreo, etc.

Este tipo de prácticas tienen una amplia aplicación en la docencia y en la investigación [176]. En la Tabla 6.1 se muestran algunos ámbitos de la Ingeniería del Control en los que SLD puede ser usado.

Temas	Materias
Modelado y Simulación	Identificación experimental de sistemas. Análisis de respuesta transitoria.
Control Clásico	Diseño de sistemas de control por respuesta transitoria. Diseño de sistemas de control por respuesta de frecuencia. Ajuste de reguladores PID.
Control Moderno	Diseño de sistemas de control en espacio de estado. Diseño de reguladores por ubicación de polos. Diseño de observadores de estado. Control óptimo. Control Adaptativo. Control Inteligente. Control deslizante.
Control Digital	Selección de tiempo de muestreo. Selección y ajuste de reguladores discretos. Diseño de compensadores digitales en adelanto y en atraso.
Robótica	Modelado dinámico de manipuladores. Planificación de trayectorias. Control de articulaciones independientes. Control por torque. Control con compensación.

Tabla 6.1 Temas de la Ingeniería del Control en los que el sistema SLD puede ser usado. Algunos temas son tratados en grado y otros en postgrado.

Los temas de Modelado y Simulación, Control Clásico y algunos aspectos de Control Digital suelen ser tratados en cursos de grado, mientras que el resto suelen ser abordados en cursos de máster, doctorado y en la investigación de forma general.

6.1.1 Prácticas paramétricas

Las prácticas paramétricas, también llamadas prácticas con controlador predefinido, son aquellas en las que el usuario no cambia el tipo regulador, solo modifica sus parámetros. Estos parámetros se pueden ajustar entre dos valores límites, inferior y superior, los cuales están relacionados con la protección del equipo. Es una práctica más enfocada a la docencia, pues permite que el profesor centre el aprendizaje en un objetivo específico. En este sentido, es común que existan varias prácticas de este tipo para cada sistema físico.

Este tipo de prácticas está formado por cuatro ficheros: la página web de la práctica, el modelo de Simulink (.mdl), un script de MATLAB (.m) y la página web de resultados. La página Web de la práctica está alojada en el servidor web y el resto de los archivos residen en la estación de trabajo. En la Figura 6.1 se muestra un esquema con el funcionamiento de las prácticas paramétricas.

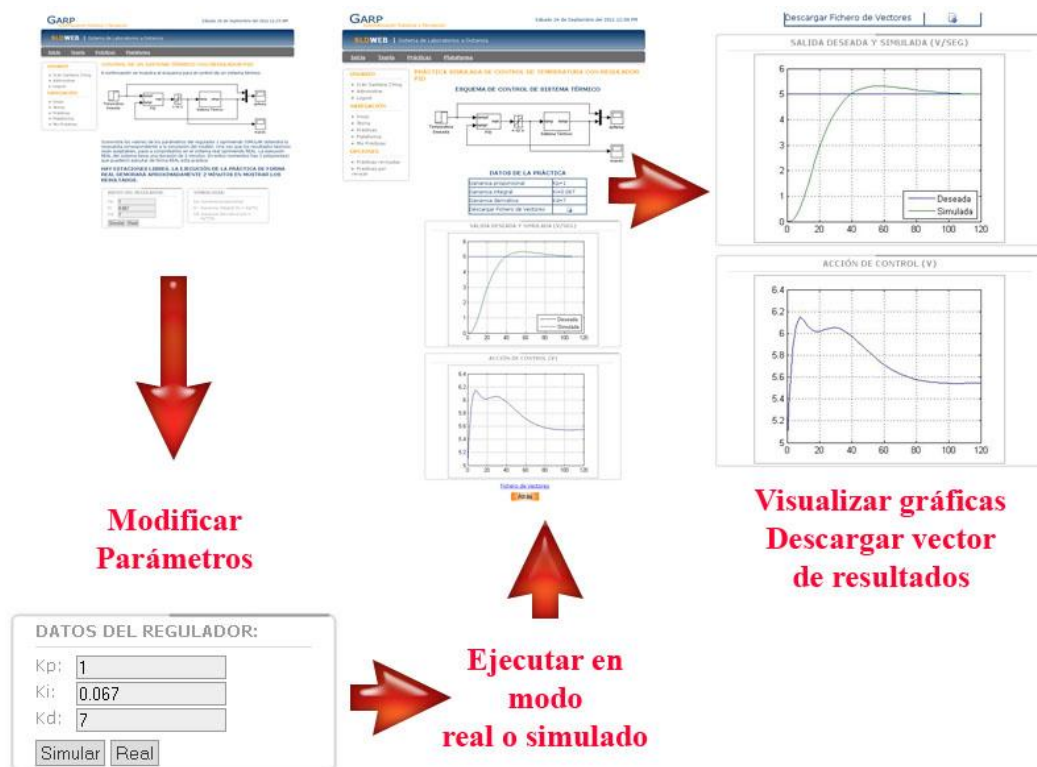


Figura 6.1 Esquema de funcionamiento de las prácticas paramétricas. Se muestra el flujo de información hasta obtener la página web de resultados.

La página web de una práctica paramétrica está formada por diez áreas.

En la Figura 6.2 se muestra la página web de inicio de una práctica paramétrica señalando las distintas partes que la conforman.

1. Información del usuario: muestra el nombre del usuario, permite a los administradores cambiar al modo de administración y contiene la opción de salir del sistema.
2. Menú de navegación: permite la navegación por el sistema. En modo de administración estas opciones se amplían.
3. Nombre de la práctica: nombre con el que se identifica la práctica.
4. Introducción: Breve texto introductorio a la práctica.
5. Esquema: muestra el esquema de la práctica. Se ha utilizado generalmente el mismo modelo de Simulink.
6. Descripción: texto que describe la práctica, cuáles son sus objetivos y cómo funciona. Se le informa al usuario de la cantidad de estaciones que pueden ejecutar de forma real la práctica.
7. Disponibilidad: se informa al usuario si hay estaciones libres para ejecutar la práctica y del tiempo aproximado que durará la ejecución.

Esto fue explicado anteriormente en el Capítulo 4. Está actualizado con la base de datos.

8. Parámetros de la práctica: permite la modificación de los parámetros con los que se va a ejecutar la práctica.
9. Ejecución de la práctica: mediante estos botones el usuario puede ejecutar la práctica en modo simulado o en modo real según desee.
10. Simbología: describe las variables utilizadas en la práctica para una mejor comprensión.

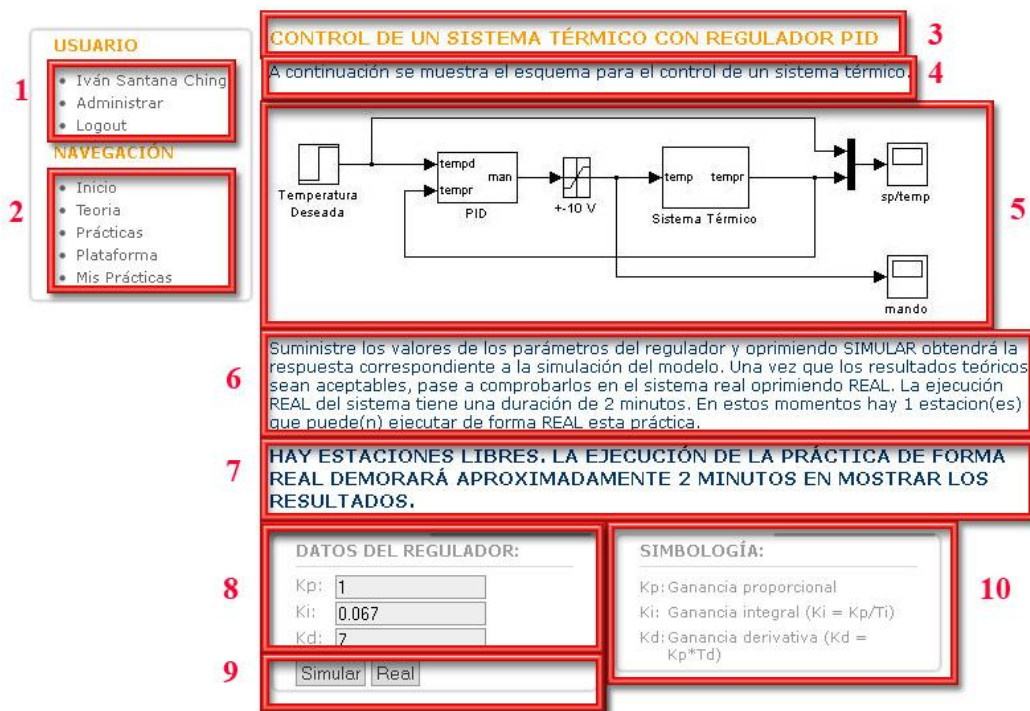


Figura 6.2 Página web de inicio de una práctica paramétrica destacando las partes que la conforman. Las prácticas se pueden ejecutar de forma simulada o real.

Para el diseño de las prácticas se siguió una metodología que permite realizar plantillas. El uso de plantillas permite la estandarización y puede ser de gran utilidad en la generación asistida de prácticas.

6.1.2 Prácticas con cambio de estrategia

Las prácticas con cambio de estrategia facilitan a las prácticas remotas de una flexibilidad mayor, permitiendo a los usuarios variar el tipo de controlador. Se basan en la descarga de un modelo de Simulink con el esquema de control de la práctica. Este modelo descargado permite modificar algunos subsistemas y

bloques del mismo como reguladores, referencias, etc., haciendo uso de los bloques de Simulink. Los bloques modificados son sustituidos en el modelo implementado para ejecutarse a continuación en tiempo real (Figura 6.3).

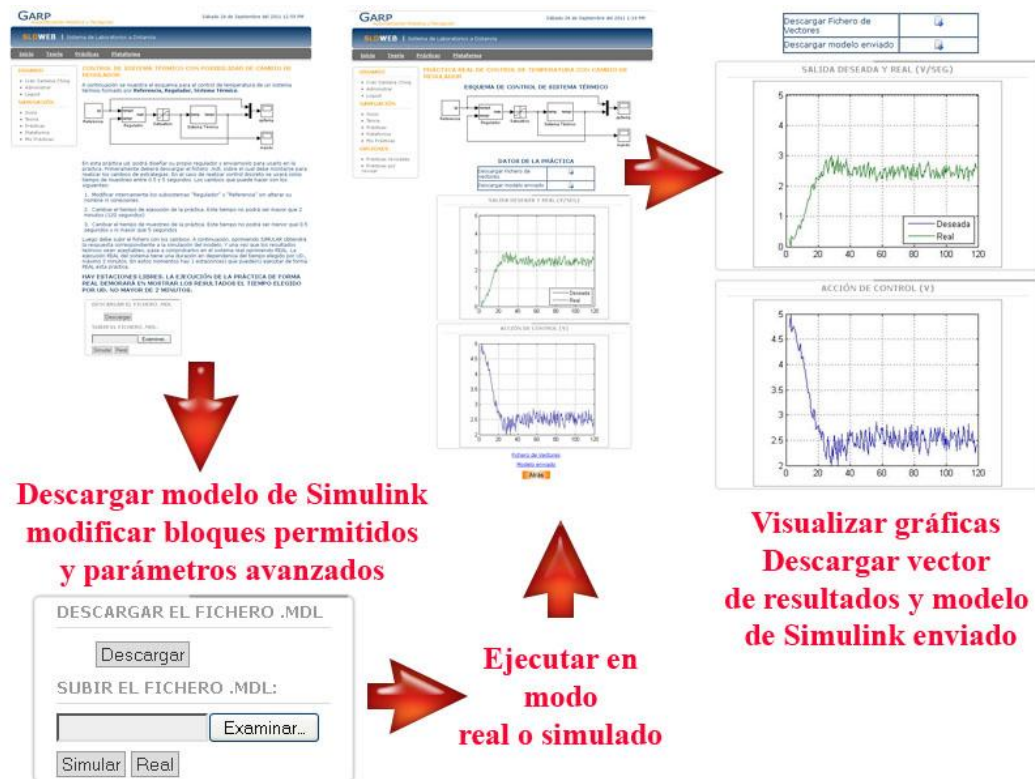


Figura 6.3 Esquema de funcionamiento de las prácticas con cambio de estrategia. Se muestra el flujo de información hasta obtener la página web de resultados.

Debido a la amplia versatilidad de este tipo de prácticas es muy común que solo exista una para cada maqueta física.

Este tipo de prácticas está formado por cinco ficheros: la página web de la práctica, la plantilla del esquema de control (.mdl), dos script de MATLAB (.m) y la página web de resultados. La página web de la práctica está alojada en el servidor web y el resto de los archivos residen en la estación de trabajo. Para el diseño de las prácticas se siguió una metodología que permite realizar plantillas.

Las prácticas con cambio de estrategia pueden tener nueve o diez áreas. La mayoría de las áreas coinciden con las de las prácticas paramétricas excepto el área 8 debido a las distintas funcionalidades de ambos tipos de prácticas. Las áreas de parámetros y de simbología pueden incluirse en este tipo de prácticas

si existieran parámetros de interés a modificar desde la página web. Las áreas mostradas en la Figura 6.4 son:

The screenshot shows a web interface for a control practice. It is divided into several sections:

- 1. USUARIO (User):** A box containing the user's name 'Iván Santana Ching', an 'Administrar' (Administer) link, and a 'Logout' link.
- 2. NAVEGACIÓN (Navigation):** A box containing links for 'Inicio' (Home), 'Teoría' (Theory), 'Prácticas' (Practices), 'Plataforma' (Platform), and 'Mis Prácticas' (My Practices).
- 3. TÍTULO DE LA PRÁCTICA (Practice Title):** 'CONTROL DE SISTEMA TÉRMICO CON POSIBILIDAD DE CAMBIO DE REGULADOR'.
- 4. INTRODUCCIÓN (Introduction):** A paragraph explaining the practice and the control system components: 'Referencia, Regulador, Sistema Térmico'.
- 5. ESQUEMA (Diagram):** A Simulink block diagram of a thermal control system. It includes blocks for 'Referencia' (Reference), 'Regulador' (Controller), 'Saturación' (Saturation), 'Sistema Térmico' (Thermal System), and 'mando' (Control). Signals are labeled 'sp', 'tempd', 'temp', 'man', and 'sp/temp'.
- 6. DESCRIPCIÓN DE LA PRÁCTICA (Practice Description):** A detailed text block explaining the practice objectives, the need to download a .mdl file, and the rules for simulation and real-time execution. It lists three specific tasks:
 1. Modificar internamente los subsistemas "Regulador" y "Referencia" sin alterar su nombre ni conexiones
 2. Cambiar el tiempo de ejecución de la práctica. Este tiempo no podrá ser mayor que 2 minutos (120 segundos)
 3. Cambiar el tiempo de muestreo de la práctica. Este tiempo no podrá ser menor que 0.5 segundos y ni mayor que 5 segundos
- 7. ESTADO DE LA PRÁCTICA (Practice Status):** A message stating: 'HAY ESTACIONES LIBRES. LA EJECUCIÓN DE LA PRÁCTICA DE FORMA REAL DEMORARÁ EN MOSTRAR LOS RESULTADOS EL TIEMPO ELEGIDO POR UD. NO MAYOR DE 2 MINUTOS.'
- 8. DESCARGAR EL FICHERO .MDL (Download .mdl file):** A button labeled 'Descargar'.
- 9. SUBIR EL FICHERO .MDL (Upload .mdl file):** A section with an 'Examinar...' (Browse...) button and a 'Simular' (Simulate) button.

Figura 6.4 Página web de inicio de una práctica con cambio de estrategia destacando las partes que la conforman. Las prácticas se pueden ejecutar de forma simulada o real.

1. Información del usuario: muestra el nombre del usuario, permite a los administradores cambiar al modo de administración y contiene la opción de salir del sistema.
2. Menú de navegación: permite la navegación por el sistema. En modo de administración estas opciones se amplían.
3. Nombre de la práctica: nombre con el que se identifica la práctica.
4. Introducción: Breve texto introductorio a la práctica.
5. Esquema: muestra el esquema de la práctica. Se ha utilizado generalmente el mismo modelo de Simulink.

6. Descripción: texto que describe la práctica, cuáles son sus objetivos y cómo funciona. Se le informa al usuario de la cantidad de estaciones que pueden ejecutar de forma real la práctica.
7. Disponibilidad: se informa al usuario si hay estaciones libres para ejecutar la práctica y del tiempo aproximado que durará la ejecución. Esto fue explicado anteriormente en el Capítulo 4. Está actualizado con la base de datos.
8. Descarga y subida de plantillas: permite al usuario descargar la plantilla con el esquema de cada práctica. Tras la modificación, el fichero (.mdl) puede ser subido al sistema para ser ejecutado en modo de simulación o en tiempo real, igual que en las prácticas paramétricas.
9. Ejecución de la práctica: mediante estos botones el usuario puede ejecutar la práctica en modo simulado o en modo real según desee.

6.2 Adquisición de competencias mediante el control de sistemas físicos reales de forma remota

En esta sección se explicarán los objetivos perseguidos en las actividades prácticas remotas desarrolladas en la asignatura. La implementación de cada una de las prácticas se verá en el próximo capítulo. Se ha escogido para el acceso remoto el sistema desarrollado y explicado con anterioridad, Sistema de Laboratorios a Distancia (SLD).

El objetivo de las prácticas remotas es completar el aprendizaje de los estudiantes permitiendo un acceso con menos restricciones en horarios y tiempos. El alumno puede acceder desde casa o desde un ordenador del campus universitario a las diferentes prácticas remotas implementadas. El estudiante puede volver a realizar los experimentos desarrollados en el laboratorio o probar con nuevos parámetros o algoritmos de control. Esto les permite ampliar sus conocimientos y desarrollar sus dotes de investigación sin preocuparse por conexiones o cuestiones relacionadas con el hardware [178].

Al igual que en la prácticas desarrolladas en el laboratorio, para las prácticas remotas se utilizan las maquetas del motor de corriente continua y del sistema térmico. Por limitaciones y seguridad, en el laboratorio las actividades remotas solo están activas las prácticas de lunes a viernes desde las 9 horas hasta las 21 horas, lo cual en ocasiones ha provocado sugerencias por parte de los

alumnos de ampliar este horario. Son habilitados los 8 puestos en el laboratorio con las maquetas. En principio se podría habilitar cada puesto con ambas maquetas pero no ha sido necesario. A pesar de que el sistema térmico presenta una dinámica lenta y las prácticas necesitan al menos 2 minutos para su total ejecución, destinando 5 puestos para el acceso remoto no han surgido problemas. El motor de corriente continua presenta una dinámica mucho más rápida, demorándose menos de 30 segundos en obtener los resultados; en este caso disponiendo 3 puestos para su uso es suficiente. Esto es algo que se monitoriza y en caso de encontrar dificultades se puede elevar la cantidad de puestos.

Al igual que en las prácticas desarrolladas en el laboratorio, con las prácticas remotas se pretende la formación de competencias en el alumno, especialmente en la capacidad de diseñar sus propios experimentos y llevarlos a cabo, así como analizar e interpretar los resultados obtenidos. Las prácticas remotas contribuyen a complementar o ampliar la adquisición de las competencias específicas obtenidas durante las sesiones presenciales en el laboratorio. Este caso se centra más en el diseño de algoritmos de control.

6.2.1 Prácticas remotas para el sistema térmico

Se realizó el diseño e implementación de seis prácticas para el sistema térmico. El objetivo es poner a disposición de los estudiantes el acceso al sistema para poder realizar ensayos con menos restricciones de horario y tiempo.

Práctica remota Control de un sistema térmico con regulador PID

El objetivo de la práctica *Control de un sistema térmico con regulador PID* es poder realizar diferentes ensayos con un regulador PID y evaluar los efectos que tienen las diferentes acciones proporcional, integral y derivativa. El aspecto que presenta la página de inicio de la práctica se muestra en la Figura 6.5.

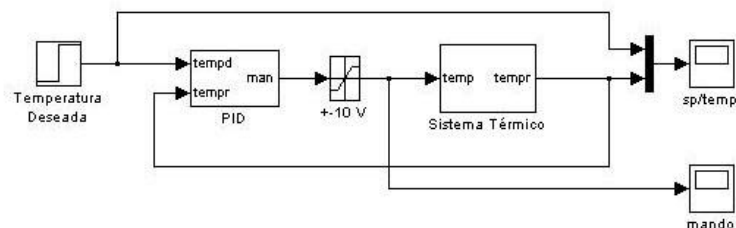
Como se planteó con anterioridad, el alumno en la primera práctica de laboratorio tiene que dedicar una gran parte del tiempo asignado a familiarizarse con el sistema físico y las conexiones, por lo que no tiene oportunidad de experimentar con el regulador. En esta práctica el regulador PID implementado es continuo, por lo que es utilizada en la primera actividad de la asignatura. Es una práctica paramétrica en la que los alumnos solo tienen

acceso a variar los valores de Kp, Ki y Kd los cuales están limitados entre 0 y 10 unidades.

Una vez que los alumnos hayan realizado el diseño del regulador deben introducir los parámetros en los cuadros de diálogos y oprimir *Simular* o *Real* según corresponda. El estudiante puede así probar los efectos que tienen las diferentes acciones del regulador PID sobre la respuesta del sistema térmico, ante una señal escalón de amplitud 5.

CONTROL DE UN SISTEMA TÉRMICO CON REGULADOR PID

A continuación se muestra el esquema para el control de un sistema térmico.



Suministre los valores de los parámetros del regulador y oprimiendo SIMULAR obtendrá la respuesta correspondiente a la simulación del modelo. Una vez que los resultados teóricos sean aceptables, pase a comprobarlos en el sistema real oprimiendo REAL. La ejecución REAL del sistema tiene una duración de 2 minutos. En estos momentos hay 1 estación(es) que puede(n) ejecutar de forma REAL esta práctica.

HAY ESTACIONES LIBRES. LA EJECUCIÓN DE LA PRÁCTICA DE FORMA REAL DEMORARÁ APROXIMADAMENTE 2 MINUTOS EN MOSTRAR LOS RESULTADOS.

DATOS DEL REGULADOR:	SIMBOLOGÍA:
Kp: <input type="text" value="1"/>	Kp: Ganancia proporcional
Ki: <input type="text" value="0.067"/>	Ki: Ganancia integral ($K_i = K_p/T_i$)
Kd: <input type="text" value="7"/>	Kd: Ganancia derivativa ($K_d = K_p \cdot T_d$)
<input type="button" value="Simular"/> <input type="button" value="Real"/>	

Figura 6.5 Página web de la práctica remota *Control de un sistema térmico con regulador PID* permite realizar diferentes ensayos con un regulador PID.

En la Figura 6.6 se muestra la respuesta real del sistema. Los alumnos pueden observar los efectos que se producen sobre la respuesta del sistema al variar la ganancia, así como el error que presenta en régimen permanente (Figura 6.6 a y Figura 6.6 b). En la Figura 6.6 c se muestra como la acción integral hace que el error en régimen permanente sea cero, pero el sistema es más lento. Por su parte se aprecia como con la incorporación de la acción derivativa el sistema es más rápido (Figura 6.6 d).

Los alumnos reciben un vector de salida con los resultados que pueden descargarse en formato MAT de MATLAB para luego utilizarlos desde casa para futuros informes.

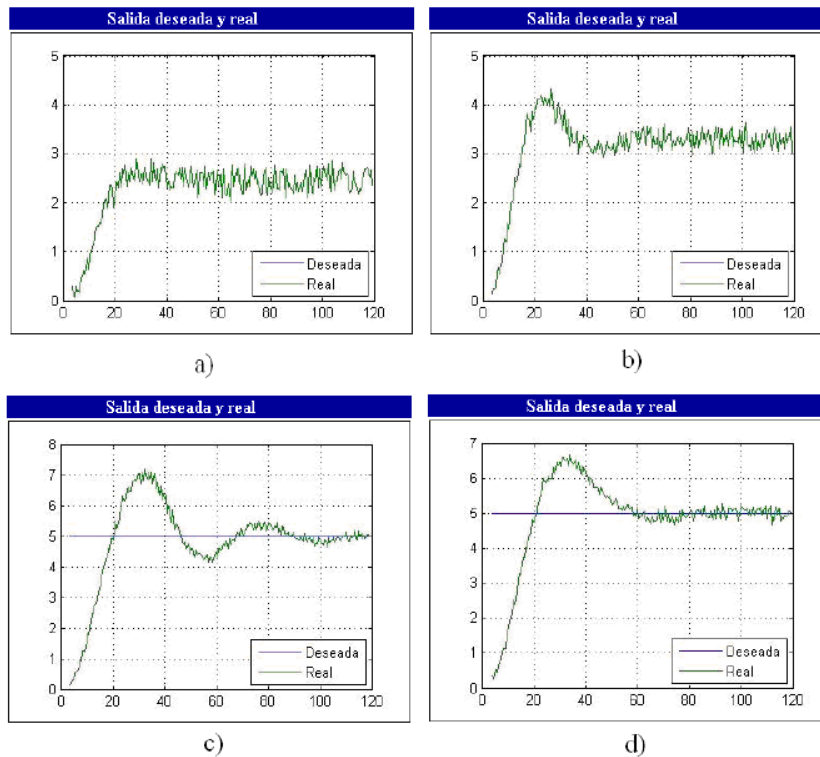


Figura 6.6 Respuesta del sistema térmico (V/Seg).

a) Controlador P $K_p = 0.5$, b) Controlador P $K_p = 2$, c) Controlador PI $K_p = 2$ y $K_i = 0.15$, d) Controlador PID $K_p = 2$, $K_i = 0.15$ and $K_d = 7$.

Práctica remota Control de un sistema térmico con cambio de regulador

La práctica remota *Control de un sistema térmico con cambio de regulador* incrementa sustancialmente las posibilidades de diseño de reguladores para el sistema térmico. La página de inicio de la práctica se muestra en la Figura 6.7.

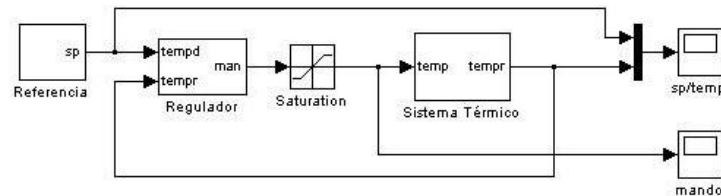
Esta práctica permite probar cualquier estrategia de control tanto continua como discreta. Debido a esto, la complejidad aumenta y demanda una mayor dedicación y análisis por parte de los alumnos. Pertenece al grupo de prácticas en las que la estructura del controlador puede ser definida por el usuario.

En la página web, como se ha explicado anteriormente, el usuario se descarga un esquema de Simulink base que le permite realizar varios cambios,

concretamente en los bloques *Regulador* y *Referencia*. Además, el alumno puede realizar cambios en el tiempo de ejecución del ensayo el cual no puede ser mayor de 120 segundos, y en el tiempo de muestreo que debe estar entre 0.5 y 5 segundos.

CONTROL DE SISTEMA TÉRMICO CON POSIBILIDAD DE CAMBIO DE REGULADOR

A continuación se muestra el esquema para el control de temperatura de un sistema térmico formado por **Referencia**, **Regulador**, **Sistema Térmico**.



En esta práctica ud. podrá diseñar su propio regulador y enviarnoslo para usarlo en la práctica. Primeramente deberá descargar el fichero .mdl, sobre el cual debe montarse para realizar los cambios de estrategias. En el caso de realizar control discreto se usará como tiempo de muestreo entre 0.5 y 5 segundos. Los cambios que puede hacer son los siguientes:

1. Modificar internamente los subsistemas "Regulador" y "Referencia" sin alterar su nombre ni conexiones
2. Cambiar el tiempo de ejecución de la práctica. Este tiempo no podrá ser mayor que 2 minutos (120 segundos)
3. Cambiar el tiempo de muestreo de la práctica. Este tiempo no podrá ser menor que 0.5 segundos y ni mayor que 5 segundos

Luego debe subir el fichero con los cambios. A continuación, oprimiendo SIMULAR obtendrá la respuesta correspondiente a la simulación del modelo. Y una vez que los resultados teóricos sean aceptables, pase a comprobarlos en el sistema real oprimiendo REAL. La ejecución REAL del sistema tiene una duración en dependencia del tiempo elegido por UD., máximo 2 minutos. En estos momentos hay 1 estación(es) que puede(n) ejecutar de forma REAL esta práctica.

HAY ESTACIONES LIBRES. LA EJECUCIÓN DE LA PRÁCTICA DE FORMA REAL DEMORARÁ EN MOSTRAR LOS RESULTADOS EL TIEMPO ELEGIDO POR UD. NO MAYOR DE 2 MINUTOS.

Figura 6.7 *Página web de la práctica remota Control de un sistema térmico con cambio de regulador permite ensayar con esquemas de control definidos por los estudiantes.*

El proceso de utilización es muy sencillo, el alumno se descarga el modelo de Simulink y realiza las modificaciones que considere necesarias en los subsistemas *Regulador* y *Referencia*. Estas modificaciones se hacen usando los diferentes bloques de Simulink, tanto bloques continuos como discretos, según se considere necesario. Al realizar control discreto se debe tener en

cuenta que el tiempo de muestreo de todos los bloques usados tiene que coincidir, así como el tiempo de muestreo de los parámetros de la simulación.

En la Figura 6.8 se muestra el modelo de Simulink descargado y cada sección indicada se detalla a continuación:

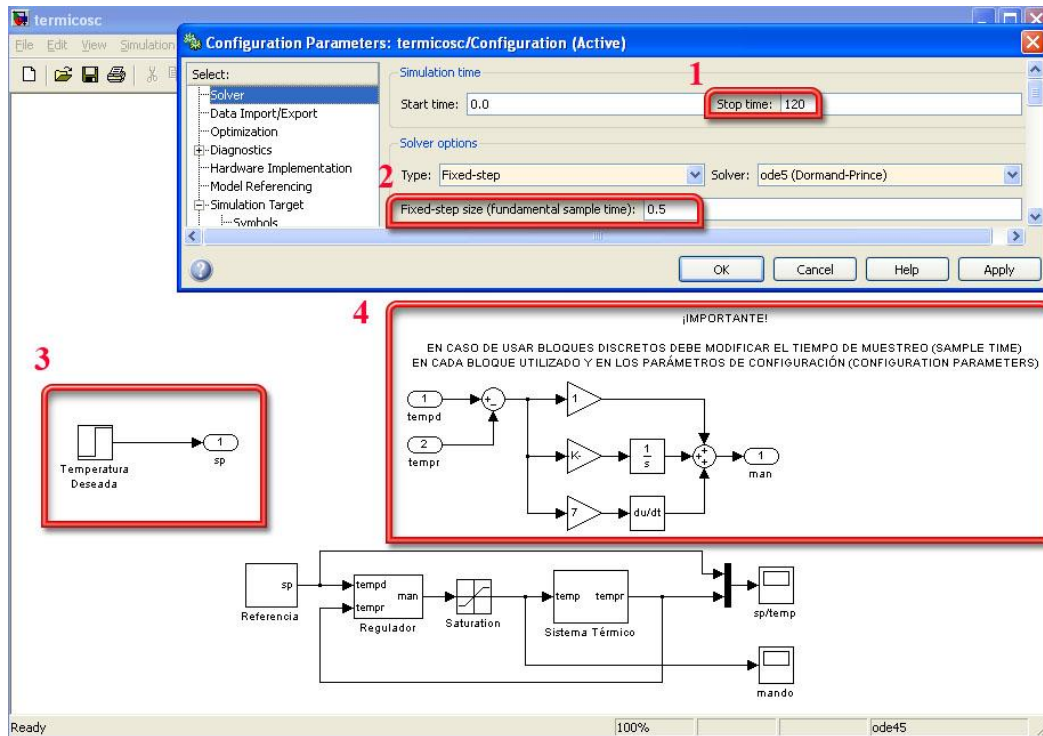


Figura 6.8 Modelo de Simulink descargado de la práctica remota Control de un sistema térmico con cambio de regulador. Permite modificar el esquema de control y otros parámetros de control.

1. Permite cambiar el tiempo de ejecución del ensayo, no mayor de 120 segundos. En caso de poner un valor superior, el sistema lo sustituye por 120 segundos.
2. En caso de usar bloques discretos es posible modificar el tiempo de muestreo. Este tiempo debe coincidir en cada uno de los bloques que se incluyan, si no se recibirá un error. El tiempo de muestreo puede ajustarse entre 0.5 y 5 segundos.
3. Las modificaciones en el subsistema de Referencia permiten realizar el ensayo con diferentes señales de entrada.
4. El subsistema Regulador constituye la parte fundamental del esquema, pues permite realizar los diferentes cambios en las estrategias de

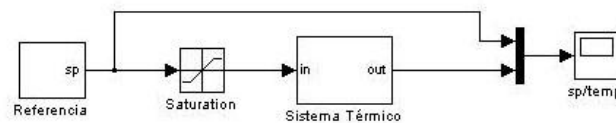
control. Reguladores digitales, observadores de estado, adelanto y atraso de fase entre otras variantes de control pueden ser usadas.

Práctica remota Identificación del sistema térmico

Esta práctica remota *Identificación del sistema térmico* permite realizar la identificación del sistema térmico. La identificación de sistemas constituye un tema fundamental de la asignatura. La página web de inicio de la práctica se muestra en la Figura 6.9.

IDENTIFICACIÓN DEL SISTEMA TÉRMICO

A continuación se muestra el esquema para la identificación de un sistema térmico.



En esta actividad podrá identificar el sistema térmico. Descargue el modelo del sistema y modifique el bloque **Referencia**, debe respetar la salida. Además puede modificar el tiempo de ejecución entre 0 y 120 segundos. Luego suba el modelo y ejecute la identificación, obtendrá las gráficas de identificación y los vectores. En estos momentos hay 1 estación(es) que puede(n) realizar la identificación del sistema térmico.

HAY ESTACIONES LIBRES. LA IDENTIFICACIÓN DEL SISTEMA DEMORARÁ EN MOSTRAR LOS RESULTADOS EL TIEMPO ELEGIDO POR UD. NO MAYOR DE 2 MINUTOS.

Figura 6.9 *Página web de la práctica remota Identificación del sistema térmico. Permite modificar el esquema de identificación y ensayar con diferentes señales en la referencia.*

En esta página web el usuario se descarga un esquema de Simulink base que le permite realizar cambios en el bloque *Referencia*. Los estudiantes pueden hacer cambios en la entrada de referencia para analizar la respuesta del sistema. Debido a esto la práctica está incluida dentro del grupo de prácticas con cambio de estrategia.

El procedimiento es muy parecido al caso anterior, el alumno se descarga el modelo de Simulink y realiza las modificaciones que considere necesarias en el subsistema *Referencia*. Estas modificaciones se hacen usando los diferentes

bloques de Simulink, en este caso los del grupo de señales. En la Figura 6.10 se muestra el modelo de Simulink descargado y cada una de las secciones indicadas en la misma se detalla a continuación:

1. Permite cambiar el tiempo de ejecución del ensayo, no mayor de 120 segundos. En el caso de poner un valor superior, el sistema lo sustituye por 120 segundos.
2. Las modificaciones en el subsistema de *Referencia* permiten ensayar el sistema con diferentes señales de entrada en la identificación.

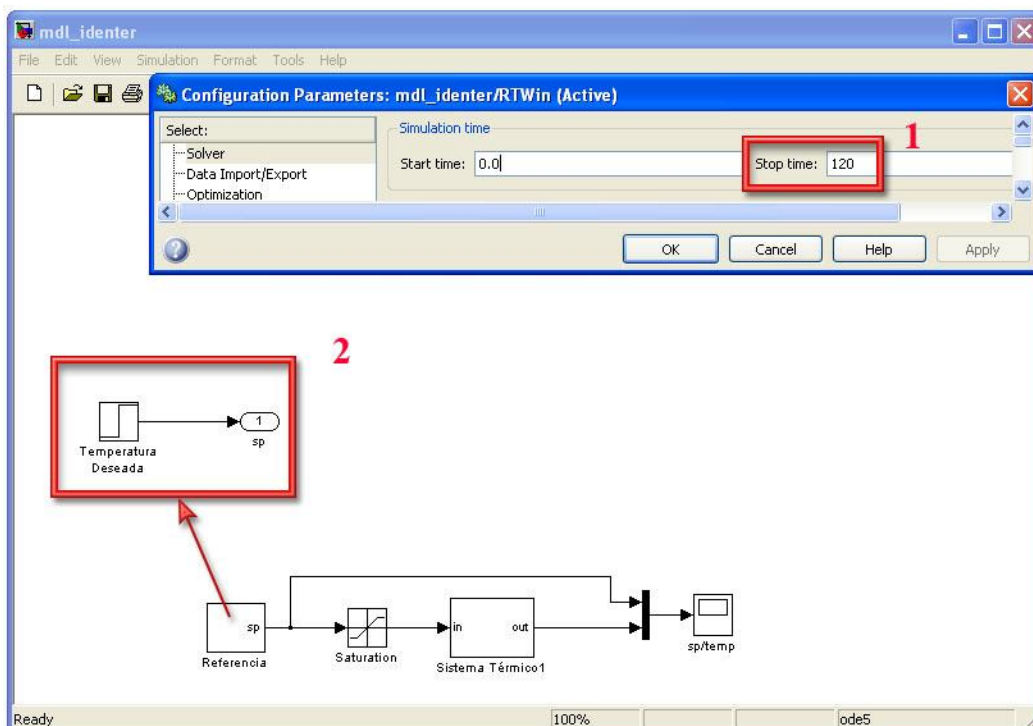


Figura 6.10 Modelo de Simulink descargado de la práctica remota *Identificación del sistema térmico*. Permite modificar el esquema de identificación y otros parámetros de configuración.

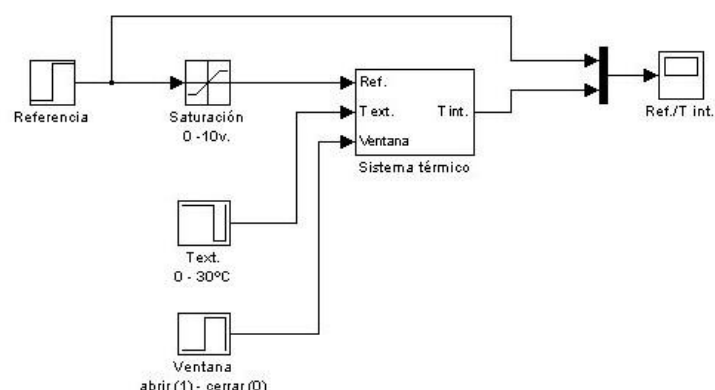
Práctica remota Ensayo con un sistema térmico

La práctica remota *Ensayo con un sistema térmico* amplía las posibilidades de análisis del sistema térmico gracias a la inclusión de las perturbaciones. Como ya se explicó, la maqueta térmica consta de una entrada para fijar la referencia de temperatura y una salida para medir la temperatura interior de un recinto. Ambas señales son analógicas en el rango 0-10 voltios que se corresponde con una variación de 0-30°C.

La página web de la práctica se muestra en la Figura 6.11.

ENSAYO DE UN SISTEMA TÉRMICO

A continuación se muestra el esquema para ensayar un sistema térmico en bucle abierto.



El sistema consta de una entrada para fijar la referencia de temperatura y una salida para medir la temperatura interior de un recinto. Ambas señales son analógicas en el rango 0-10 voltios que se corresponde con una variación de 0-30°C. El sistema puede someterse a dos perturbaciones independientes: abrir/cerrar ventana, subir/bajar temperatura del exterior.

En esta actividad se podrá identificar la función de transferencia del sistema térmico y analizar el efecto que producen las perturbaciones sobre la temperatura interior del recinto. En estos momentos hay 1 estación(es) que puede(n) realizar el ensayo del sistema térmico.

HAY ESTACIONES LIBRES. EL RESULTADO DEL ENSAYO SE MOSTRARÁ A LOS 150 SEGUNDOS APROXIMADAMENTE.

ANÁLISIS DE UN SISTEMA TÉRMICO EN BUCLE ABIERTO:

<input checked="" type="radio"/> Sin perturbación:	Valor de la Referencia:	<input type="text" value="5"/>	volts	1
<input type="radio"/> Con perturbación ventana:	Valor de la Referencia:	<input type="text" value="5"/>	volts	2
	Abrir la ventana a los:	<input type="text" value="80"/>	segundos	
	Cerrar la ventana a los:	<input type="text" value="120"/>	segundos	
<input type="radio"/> Con perturbación temperatura exterior:	Valor de la Referencia:	<input type="text" value="5"/>	volts	3
	Elevar la temp. ext. a los:	<input type="text" value="80"/>	segundos	
	Elevar la temp. ext. en:	<input type="text" value="7"/>	grados Celcius (0-30)	
	Descender la temp. ext. a los:	<input type="text" value="120"/>	segundos	

Ensayar

Figura 6.11 Página web de la práctica remota *Ensayo con un sistema térmico*. Permite ensayar sin perturbación, con perturbación ventana y con perturbación temperatura exterior.

El sistema puede someterse a dos perturbaciones independientes: abrir/cerrar ventana, subir/bajar temperatura del exterior. En esta actividad se podrá identificar la función de transferencia del sistema térmico y además analizar el efecto que producen las perturbaciones sobre la temperatura interior del recinto. Para esto fue necesario adaptar la maqueta térmica para actuar de manera remota sobre las perturbaciones, ya que estas solo se podían accionar de forma manual.

La práctica *Ensayo con un sistema térmico* es una práctica paramétrica que permite al estudiante enfocar su aprendizaje en el estudio del sistema térmico. Puede elegir entre analizar el sistema térmico sin perturbación, con perturbación ventana o con perturbación temperatura exterior. La señal de entrada es un escalón con posibilidad de variar su amplitud.

Las opciones de ensayo y los parámetros que se deben introducir en la página web se describen a continuación:

1. Permite analizar la respuesta del sistema térmico con entrada de referencia tipo escalón. El estudiante tiene la posibilidad de variar la amplitud a un valor no superior de 10.
2. Permite analizar la respuesta del sistema térmico ante perturbación en la ventana. Permite ajustar el instante en el que abrir y cerrar la ventana para provocar la perturbación. El alumno puede variar la amplitud del escalón a un valor no superior de 10.
3. Permite analizar la respuesta del sistema térmico ante perturbación de temperatura exterior. Además de variar la amplitud del escalón se puede ajustar el tiempo en el que se desea elevar la temperatura exterior (0-30°C) y cuando se desee hacerla descender.

Práctica remota Control de un sistema térmico con regulador PID y perturbación

El objetivo de esta práctica es poder realizar diferentes ensayos con un regulador PID y evaluar los efectos que tienen las perturbaciones en la respuesta del sistema. La página web de la práctica se muestra en la Figura 6.12.

El alumno tiene la posibilidad de probar el regulador PID sin perturbación y con perturbación ventana o temperatura exterior. La perturbación en cada caso ocurre a los 60 segundos de comenzada la ejecución por lo que el estudiante debe intentar que su sistema se haya estabilizado antes de ese tiempo. En el caso de la perturbación temperatura exterior, esta se eleva en 3°C (1 volt).

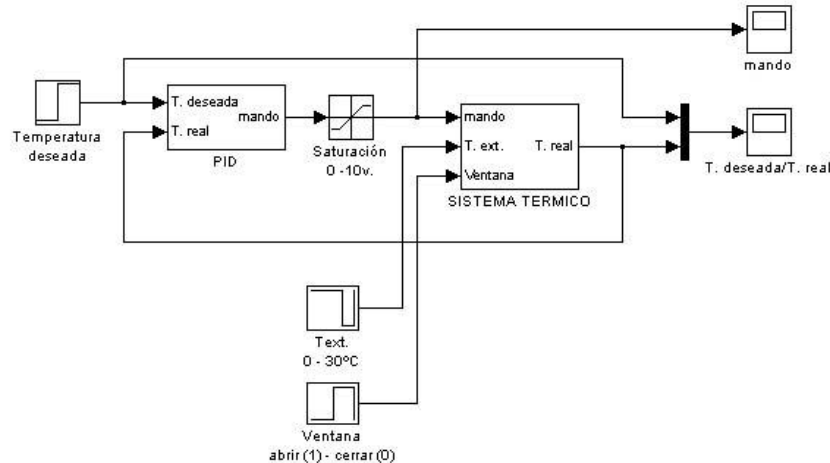
Práctica remota Control de un sistema térmico con perturbación y regulador anticipativo

La práctica remota *Control de un sistema térmico con perturbación y regulador anticipativo* tiene como objetivo realizar diferentes ensayos con un regulador

anticipativo y evaluar los efectos que tienen las perturbaciones en la respuesta del sistema (Figura 6.13).

CONTROL DE UN SISTEMA TÉRMICO CON REGULADOR PID Y PERTURBACIÓN

A continuación se muestra el esquema para el control de un sistema térmico.



Introduzca los parámetros del regulador PID y elija si desea o no generar una perturbación en el sistema. La opción Simular permite ver la evolución de la temperatura del sistema al ejecutarse sobre un modelo simulado. La opción Real devuelve la variación de la temperatura al ejecutarse sobre el sistema térmico real. La estructura del PID implementado es de la forma suma de ganancias proporcional (K_p), integral (K_i) y derivativa (K_d). La entrada de referencia (Temperatura deseada) es igual a 5 V. (15°C).

En el ensayo se podrá observar el efecto que producen las perturbaciones sobre el sistema con el regulador PID ajustado. Al elegir la opción Real, las dos perturbaciones (abrir ventana, elevar temperatura exterior) se producen a los 60 segundos de comenzada la ejecución. En el caso de la perturbación elevar temperatura exterior, ésta se aumentará en 3°C (1 V).

La duración del ensayo con la opción Simular es instantánea; con la opción Real es de aproximadamente 2 minutos.

LO SENTIMOS MUCHO PERO NO HAY ESTACIONES QUE PUEDAN EJECUTAR ESTA PRÁCTICA DE FORMA REAL. POR FAVOR PRUEBE EN OTRO MOMENTO.

DATOS DEL REGULADOR:	SIMBOLOGÍA:
Kp: <input type="text" value="1"/>	Kp: Ganancia proporcional
Ki: <input type="text" value="0"/>	Ki: Ganancia integral ($K_i = K_p/T_i$)
Kd: <input type="text" value="0"/>	Kd: Ganancia derivativa ($K_d = K_p \cdot T_d$)
<input checked="" type="radio"/> Sin perturbación <input type="radio"/> Con perturbación ventana <input type="radio"/> Con perturbación temp. exterior	
<input type="button" value="Simular"/> <input type="button" value="Real"/>	

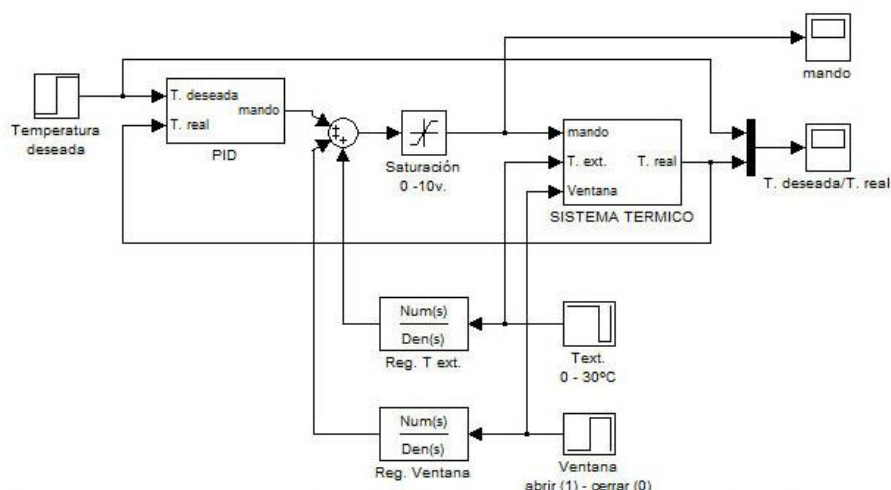
Figura 6.12 Página web de la práctica remota Control de un sistema térmico con regulador PID y perturbación. Permite realizar diferentes ensayos con un regulador PID y evaluar los efectos que tienen las perturbaciones en la respuesta del sistema.

Esta práctica es una continuación de la práctica anterior, pues una vez ajustado el regulador PID se puede implementar un regulador anticipativo que minimice

las perturbaciones y mantenga los requerimientos de régimen permanente. El alumno tiene la posibilidad de ensayar con el sistema sin perturbación y con perturbación ventana o temperatura exterior.

CONTROL DE UN SISTEMA TÉRMICO CON PERTURBACIÓN Y REGULADOR ANTICIPATIVO

A continuación se muestra el esquema de control de un sistema térmico con reguladores anticipativos para compensar el efecto de las perturbaciones.



Introduzca los parámetros del regulador PID y el numerador y denominador del regulador anticipativo correspondiente a cada perturbación (separar los elementos del numerador y denominador mediante comas). Seleccione la perturbación que se desea compensar y pulse Ensayar para obtener la evolución de la temperatura real del sistema.

La estructura del PID implementado es de la forma suma de ganancias proporcional (K_p), integral (K_i) y derivativa (K_d). La entrada de referencia (Temperatura deseada) es igual a 5 V. (15°C). Las dos perturbaciones (abrir ventana, elevar temperatura exterior) se producen a los 60 segundos de comenzada la ejecución. En el caso de la perturbación elevar temperatura exterior, ésta se aumentará en 3°C (1 V.).

La duración total del ensayo es de 2 minutos.

LO SENTIMOS MUCHO PERO NO HAY ESTACIONES QUE PUEDAN EJECUTAR ESTA PRÁCTICA DE FORMA REAL. POR FAVOR PRUEBE EN OTRO MOMENTO.

DATOS DEL REGULADOR PID:	SIMBOLOGÍA:
Kp: <input type="text" value="1"/>	Kp: Ganancia proporcional
Ki: <input type="text" value="0.067"/>	Ki: Ganancia integral ($K_i = K_p/T_i$)
Kd: <input type="text" value="7"/>	Kd: Ganancia derivativa ($K_d = K_p \cdot T_d$)
<input checked="" type="radio"/> Con perturbación ventana <input type="radio"/> Con perturbación temp. exterior	Num: Numerador del regulador anticipativo
DATOS DEL REGULADOR ANTICIPATIVO:	Den: Denominador del regulador anticipativo
Num: <input type="text" value="1,1"/>	
Den: <input type="text" value="1,1"/>	
<input type="button" value="Ensayar"/>	

Figura 6.13 Página web de la práctica remota Control de un sistema térmico con perturbación y regulador anticipativo. Permite realizar diferentes ensayos con un regulador anticipativo y evaluar los efectos que tienen las perturbaciones en la respuesta del sistema.

La entrada de referencia (Temperatura deseada) es igual a 5 V. (15°C). Las dos perturbaciones (abrir ventana, elevar temperatura exterior) se producen a los 60 segundos de comenzada la ejecución. En el caso de la perturbación elevar temperatura exterior, ésta se aumentará en 3°C (1 V.). El regulador anticipativo se introduce mediante un numerador y un denominador cuyos elementos se separan por comas.

6.2.2 Prácticas remotas para el motor de corriente continua

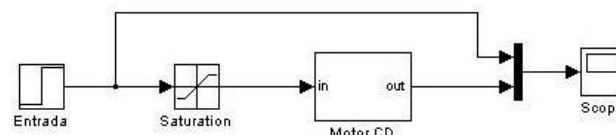
Se realizó el diseño e implementación de dos prácticas para el motor de corriente continua. El objetivo, al igual que con la maqueta térmica, es poner a disposición de los alumnos el acceso a los motores para poder realizar ensayos con menos restricciones de horario y tiempo.

Práctica remota Identificación del motor de corriente continua

En esta práctica los alumnos podrán realizar la identificación del motor de corriente continua de forma remota (Figura 6.14).

IDENTIFICACIÓN DEL MOTOR DE CORRIENTE CONTINUA

A continuación se muestra el esquema para la identificación de un Motor DC



Suministre la amplitud del escalón, oprimiendo Identificar, obtendrá las gráficas de identificación y los vectores. En estos momentos hay 1 estación(es) que puede(n) realizar la identificación del motor de corriente directa.

HAY ESTACIONES LIBRES. LA IDENTIFICACIÓN DEL SISTEMA DEMORARÁ APROXIMADAMENTE 15 SEGUNDOS EN MOSTRAR LOS RESULTADOS.

AMPLITUD DEL ESCALÓN(VOLT): Vp: <input type="text" value="1"/> <input type="button" value="Identificar"/>	SIMBOLOGÍA: Vp: Amplitud del Escalón(Volt)
--	--

Figura 6.14 Página web de la práctica remota Identificación del motor de corriente continua. Permite realizar la identificación del motor de corriente continua de forma remota.

Esta práctica *Identificación del motor de corriente continua* coincide con la realizada por los alumnos en el laboratorio de automática, por lo que el objetivo

principal es ponerla a disposición de ellos para que puedan realizar nuevos ensayos desde casa vía web.

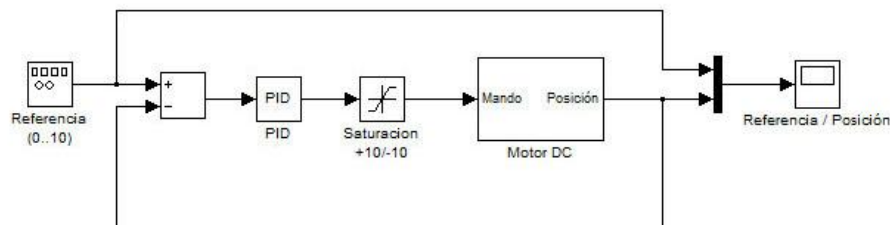
Debido a la dinámica del motor, esta práctica se ejecuta con mucha rapidez. El alumno introduce la amplitud del escalón y oprime el botón *Identificar* obteniendo la gráfica y los vectores de las salidas generador y taco-generador.

Práctica remota Control de posición de motor de corriente continua con regulador PID

La práctica *Control de motor de corriente continua con regulador PID* permite realizar el diseño de un regulador continuo para dicha maqueta. Tras la identificación del motor en la actividad anterior, los alumnos realizan el diseño de un regulador PID que permita el control de posición del motor de corriente continua. Es una práctica paramétrica que brinda la posibilidad de modificar la ganancia proporcional (K_p), integral (K_i) y derivativa (K_d), así como la amplitud de la señal de onda cuadrada que se introduce como referencia de posición. En la Figura 6.15 se muestra la página web de la práctica.

CONTROL DE POSICIÓN DE MOTOR DE CORRIENTE CONTINUA CON REGULADOR PID

A continuación se muestra el esquema para el control de un motor de corriente continua.



Suministre los valores de los parámetros del regulador y la amplitud de la onda cuadrada. Oprimiendo ENSAYAR obtendrá la respuesta REAL. La ejecución REAL del sistema tiene una duración de 25 segundos. En estos momentos hay 1 estación(es) que puede(n) ejecutar de forma REAL esta práctica.

HAY ESTACIONES LIBRES. LA EJECUCIÓN DE LA PRÁCTICA DE FORMA REAL DEMORARÁ APROXIMADAMENTE 25 SEGUNDOS EN MOSTRAR LOS RESULTADOS.

DATOS DE LA PRÁCTICA:		SIMBOLOGÍA:	
Amp:	<input type="text" value="5"/>	Amp:	Amplitud de la onda cuadrada
Kp:	<input type="text" value="1"/>	Kp:	Ganancia proporcional
Ki:	<input type="text" value="2"/>	Ki:	Ganancia integral ($K_i = K_p/T_i$)
Kd:	<input type="text" value="0.2"/>	Kd:	Ganancia derivativa ($K_d = K_p \cdot T_d$)
<input type="button" value="Ensayar"/>			

Figura 6.15 *Página web de la práctica remota Control de posición de motor de corriente continua con regulador PID que permite realizar el diseño de un regulador continuo para esta maqueta.*

6.3 Adquisición de competencias mediante el desarrollo de un proyecto de control

La introducción en la asignatura de Regulación Automática de técnicas de aprendizaje activo permite mejorar la adquisición de conocimientos por parte de los estudiantes. Como ya se planteó el aprendizaje basado en proyectos fomenta habilidades muy importantes, tales como el trabajo en grupo, el aprendizaje autónomo, la planificación del tiempo, el trabajo por proyectos o la capacidad de expresión oral y escrita, y mejora la motivación del alumno, lo que se traduce en un mejor rendimiento académico y una mayor persistencia en el estudio.

La realización de proyectos en las asignaturas de control permite cubrir las diferentes etapas de automatización de un proceso. En primer lugar, se precisa llevar a cabo la identificación del sistema a controlar; seguidamente, se calculan los reguladores que cumplen las especificaciones de diseño deseadas; finalmente, se evalúa el funcionamiento del sistema realimentado, planteándose en algunos casos el uso de nuevas alternativas de control. Esta es una actividad de gran interés para el alumno, pues le permite enlazar conceptos estudiados en las diferentes partes de las asignaturas de regulación automática, como son: modelado, análisis y diseño de sistemas de control. Uno de los requisitos para que los alumnos realicen este proyecto de forma individual es que el modelo con el que se trabaje sea diferente para cada uno, lo cual requiere que aquel se parametrize, por ejemplo, con los datos personales del alumno.

El proyecto integrado es una actividad de gran interés que tiene una alta carga de trabajo para el alumno. Engloba los temas de identificación de sistemas, diseño de reguladores discretos y el uso de esquemas avanzados de control para minimizar los efectos de las perturbaciones.

Para el desarrollo del proyecto integrado se hace uso de SLD el cual se encargará de proveer los resultados de las simulaciones y los vectores de resultados, a la vez que asegura la personalización [174]. También permite realizar la comprobación de los reguladores diseñados. Cada estudiante tiene una función de transferencia del sistema diferente que depende de su número de matrícula.

Los enunciados de las distintas partes de las que consta el proyecto integrado son colocados en AulaWeb. Los resultados son entregados por esta vía al igual que los trabajos prácticos del laboratorio, tal y como se muestra en la Figura 6.16. Mediante esta interfaz el profesor puede acceder a los trabajos de cada estudiante, descargarlo y saber quiénes no han realizado la entrega.

Para hacer el acceso lo más transparente posible al sistema SLD se ha desarrollado una pasarela que permite que los alumnos se registren directamente en la misma con solo hacer un clic en un link de AulaWeb. Esto permite ingresar directamente los datos de los alumnos requeridos por SLD como son nombre de usuario (número de matrícula), contraseña, y dirección de correo electrónico. De esta forma los datos del SLD coinciden con los datos registrados del alumno en AulaWeb.

CÓDIGO	Título	Grupo	Fecha	Entregas
<input type="checkbox"/> 1RA101	T0 - Implementación de reguladores	3E1_II	6/03/2011	Actualizar 35
<input type="checkbox"/> 1RA102	T5 - Identificación	3E1_II	10/04/2011	Actualizar 32
<input type="checkbox"/> 1RA103	Proyecto integrado - parte I	3E1_II	13/04/2011	Actualizar 41
<input type="checkbox"/> 1RA104	Proyecto integrado - parte II	3E1_II	6/05/2011	Actualizar 42
<input type="checkbox"/> 1RA105	T7 - Implementación de R(z) en un sistema térmico	3E1_II	15/05/2011	Actualizar 33
<input type="checkbox"/> 1RA106	Proyecto integrado - parte III	3E1_II	19/05/2011	Actualizar 37
<input type="checkbox"/> Seleccionar todos / ninguno				
Nº de trabajos diferentes programados: 6				
<input type="button" value="Añadir"/> <input type="button" value="Borrar"/> <input type="button" value="Tabla de entregas"/> <input type="button" value="Descargar trabajos"/>				
<input type="button" value="Volver"/>				

Figura 6.16 Trabajos programados en el semestre. Permite al profesor acceder a los trabajos de cada estudiante.

El proyecto integrado está formado por tres partes o fases, cada una con su entrega y nota diferente. En la primera parte el alumno tiene que realizar la identificación de un sistema que varía de acuerdo a su número de matrícula. En la Figura 6.17 se muestra el esquema del sistema a identificar.

Como se puede apreciar el sistema está formado por dos bloques Sys1 y Sys2 que deben ser identificados en su totalidad, es decir, en el bloque Sys1 se debe identificar los bloques internos que lo conforman. Este sistema presenta una entrada (Entrada) con una señal de ruido blanco y una entrada (Perturbación) con una señal escalón unitario. El alumno recibe las gráficas de los puntos a, b y c tal y como se ve en la Figura 6.17. En el punto b se suministra la señal de salida del bloque Sys1 ante la entrada de ruido. En el punto c se provee la señal de salida del sistema ante entrada de ruido y ante la perturbación.

Además, el alumno obtiene los datos numéricos de cada señal para que los pueda usar en el proceso de identificación. Aunque al estudiante no se le obliga utilizar ningún método de identificación específico se sugiere utilizar la herramienta ident así como los métodos estudiados en clase. En esta parte del proyecto las dificultades principales que se obtienen es que el alumno pretende obtener funciones de transferencia que tengan una correspondencia del 100% entre el modelo identificado y los datos reales, lo cual implica en muchos casos funciones complejas con varios ceros y polos, incluso algunos que pueden ser cancelados o despreciados. Esto afecta considerablemente las siguientes partes del proyecto integrado.

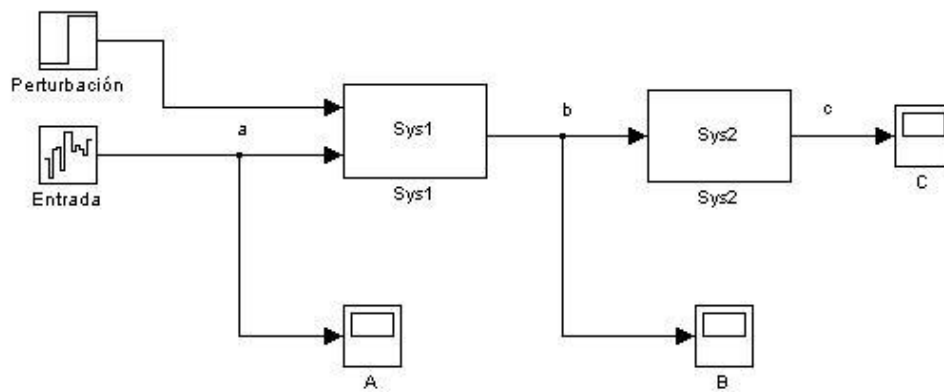


Figura 6.17 Esquema del sistema a identificar en el proyecto integrado. El alumno tiene que identificar la función de transferencia de los bloques Sys1 y Sys2.

En la segunda parte el alumno realiza el diseño de los reguladores más sencillos para el sistema identificado que aseguren cierto comportamiento requerido. Al solicitar el regulador más sencillo se solicita al alumno cumplir con la habilidad del mínimo diseño necesario. Esto también asegura equiparar el esfuerzo de todos los estudiantes ya que al tener funciones de transferencia diferentes, algunos necesitarán diseñar un regulador PID mientras que otros es probable que con un regulador P lo resuelvan.

Al comienzo de esta parte del proyecto integrado el alumno debe comprobar que ha identificado correctamente el sistema, de no ser así debe plantearse volverlo a identificar, lo que significa un esfuerzo adicional que es premiado en la evaluación de esta parte. Los reguladores diseñados deben ser comprobados a través del SLD con el sistema “real” y comparados con los resultados obtenidos con el sistema identificado. En esta parte las mayores dificultades están en el diseño de los reguladores y los alumnos suelen usar la

herramienta rltool. La herramienta rltool es excelente cuando se usa junto a los métodos de diseño enseñados en clase, de no ser así puede representar un actividad de prueba y error con una pérdida de tiempo excesiva.

La tercera parte del proyecto está orientada a probar diferentes técnicas de control para minimizar el efecto de las perturbaciones. La realimentación simple, el control anticipativo y el control en cascada son métodos que los alumnos tiene que desarrollar y comparar los resultados obtenidos. De igual forma, los reguladores diseñados deben ser comprobados a través de SLD con el sistema “real” y comparados con los resultados obtenidos con el sistema identificado. Generalmente no se presentan grandes dificultades en esta parte del proyecto integrado pues los métodos de diseño son muy bien explicados en clase.

Como se comentó anteriormente, la entrega de los resultados se hace a través de AulaWeb. El alumno debe realizar un informe con los pasos realizados para resolver el enunciado planteado en cada parte. La entrega tiene una fecha límite. En los dos primeros cursos de esta investigación el alumno tenía hasta 15 días para realizar la entrega del informe. En opinión de los profesores esto era contraproducente porque no le dedicaban toda la atención necesaria hasta los últimos días. En el último curso se destinó solo una semana a cada parte del proyecto integrado y una semana de descanso intermedia para que pudieran centrar su estudio en otros temas de la asignatura y de otras asignaturas. Esta variante no trajo cambios sustanciales en los resultados pero cambió ligeramente la opinión de estar muy cargados por la asignatura. Cada parte del proyecto integrado tiene una nota independiente que conforma la nota final del proyecto. La primera parte del proyecto representa un 25%, la segunda parte un 35% y la última parte un 40% lo cual está relacionado con la complejidad y la carga de trabajo de cada una.

6.3.1 Prácticas para el proyecto integrado

Como se ha planteado con anterioridad, la plataforma SLD ha sido utilizada para el desarrollo del proyecto integrado. El proyecto integrado consta de tres partes, la última de ellas está dividida en tres actividades, por lo que el alumno desarrollará cinco prácticas en total dentro del proyecto integrado.

Práctica del proyecto integrado Identificación de sistemas

Esta práctica permite que los alumnos, en función de su número de matrícula, obtengan las gráficas y vectores de datos necesarios para realizar la identificación del sistema mostrado en la Figura 6.18 [174].

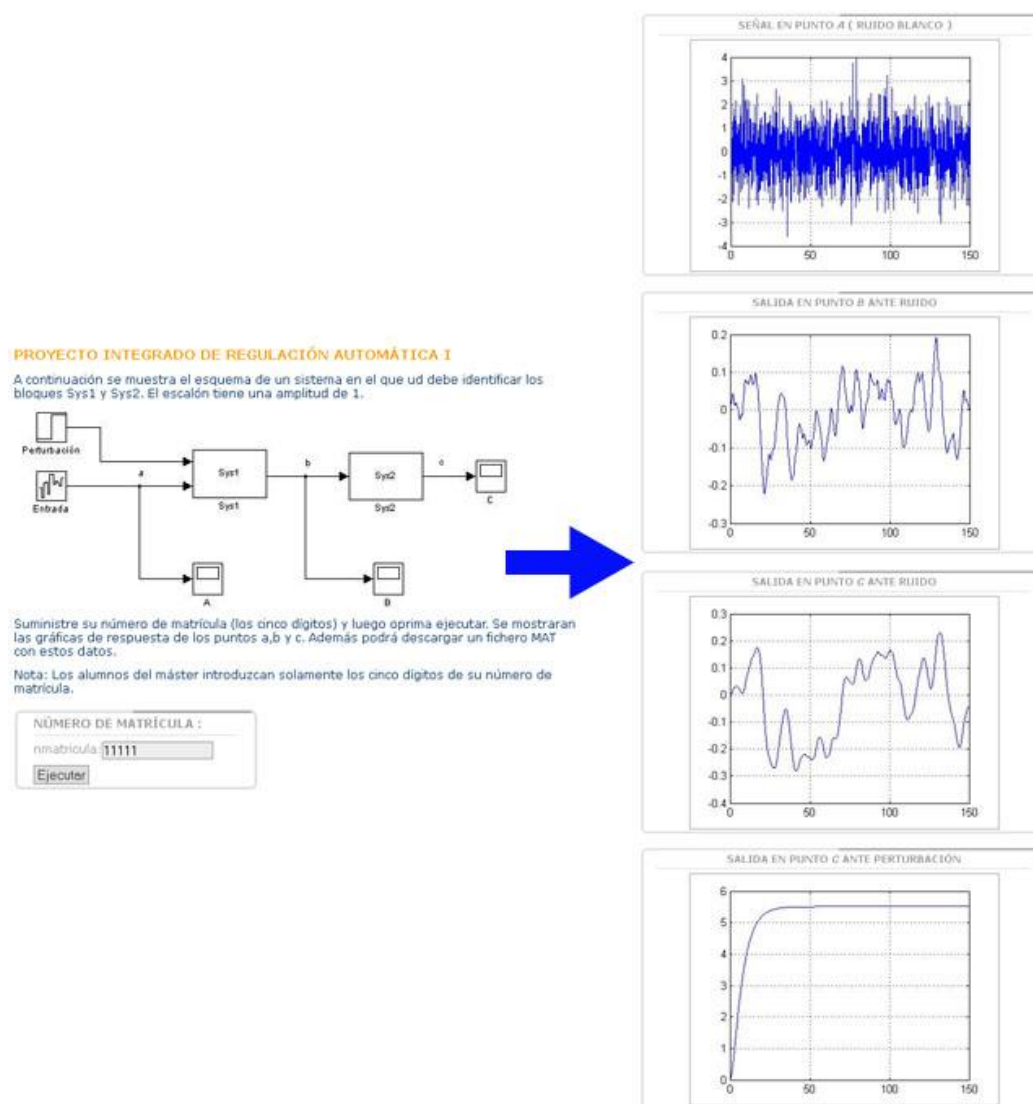


Figura 6.18 Gráficas de respuesta del sistema de acuerdo al número de matrícula. Permite que los alumnos obtengan las gráficas y vectores de datos necesarios para realizar la identificación del sistema.

El número de matrícula permite personalizar los proyectos para cada alumno. La entrada es una señal de ruido blanco y en la perturbación se aplica un escalón unitario. Los resultados que obtiene el alumno son los de puntos a, b y c. El punto a constituye el ruido blanco, el punto b la salida del sistema Sys1 y

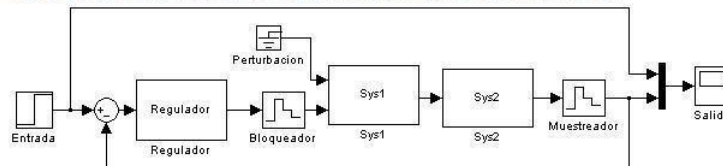
el punto c la salida del sistema Sys2. Para este último punto c dos señales son entregadas, una ante entrada de ruido blanco y otra ante perturbación escalón unitario. Tras analizar los resultados, el alumno debe percatarse que el sistema Sys1 está formado por varios bloques internos. La identificación correcta del sistema Sys1 debe incluir los bloques internos que lo forman.

Práctica del proyecto integrado Diseño de reguladores

En esta práctica los alumnos diseñarán un regulador sobre el sistema anterior y podrán comprobar si los resultados son correctos. En la Figura 6.19 se muestra la página web de la práctica.

PROYECTO INTEGRADO DE REGULACIÓN AUTOMÁTICA I (PARTE II)

A continuación se muestra el esquema de control del sistema identificado por ud.



En esta práctica podrá comprobar el regulador diseñado para el sistema identificado. Descargue el modelo del sistema y coloque el regulador diseñado por ud. dentro del bloque **Regulador**, debe respetar las entradas y salidas. Además puede modificar los bloques **Entrada** y **Perturbacion**, siempre respetando sus nombres.

Por último suministre su número de matrícula (los cinco dígitos) y luego oprima ejecutar. Se mostrará la gráfica de respuesta del sistema con el regulador diseñado por ud ante las referencias escogidas.

Nota: Los alumnos del máster introduzcan solamente los cinco dígitos de su número de matrícula.

DESCARGAR EL FICHERO .MDL

Descargar

SUBIR EL FICHERO .MDL:

Examinar...

NÚMERO DE MATRÍCULA :

nmaticula: 11111

Ejecutar

Figura 6.19 *Página web de la práctica del proyecto integrado Diseño de reguladores. Permite que el alumno diseñe un regulador para el sistema identificado en la parte anterior.*

En la práctica *Diseño de reguladores* los alumnos pueden comprobar si el sistema identificado en la primera parte del proyecto integrado ha sido correcto. Esta debe ser la primera acción a realizar en el comienzo de esta parte. Esta práctica es del tipo de controlador definido por el usuario. El alumno puede modificar los bloques de *Entrada*, *Regulador* y *Perturbacion* del modelo de Simulink previamente descargado. Los reguladores diseñados son discretos y

los estudiantes hacen uso de los conceptos teóricos vistos en la asignatura y de la herramienta *rltool* de MATLAB.

Práctica del proyecto integrado Control de Realimentación Simple

Esta práctica está asociada a la primera actividad de la tercera parte del proyecto integrado. Esta actividad permite comprobar el efecto que tiene la perturbación sobre la respuesta del sistema. Es una práctica con cambio de estrategia donde se pueden modificar los bloques *Entrada*, *Regulador* y *Perturbación*. En el bloque *Regulador* se mantiene el regulador diseñado en la práctica anterior. Es muy importante que a la hora de modificar los bloques se ponga correctamente el tiempo de muestreo, en caso contrario el sistema dará un error. La página web de la práctica es semejante a la anterior (Figura 6.19).

Práctica del proyecto integrado Control Anticipativo

En esta práctica, segunda actividad de la tercera parte del proyecto integrado, los alumnos comprobarán el efecto del control anticipativo en la perturbación (Figura 6.20).

PROYECTO INTEGRADO DE REGULACIÓN AUTOMÁTICA I (PARTE III) 2
CONTROL ANTICIPATIVO

A continuación se muestra el esquema de control anticipativo.

En esta práctica podrá comprobar el control anticipativo ante perturbación. Descargue el modelo del sistema y coloque el regulador diseñado por ud. anteriormente dentro del bloque **Regulador** y el regulador anticipativo diseñado en el bloque **Regulador1**, debe respetar las entradas y salidas. Además puede modificar los bloques **Entrada** y **Perturbación**, siempre respetando sus nombres. Por defecto en la perturbación hay un escalón unitario.

Por último suministre su número de matrícula (los cinco dígitos) y luego oprima ejecutar. Se mostrará la gráfica de respuesta del sistema con el regulador anticipativo diseñado por ud.

Nota: Los alumnos del máster introduzcan solamente los cinco dígitos de su número de matrícula.

DESCARGAR EL FICHERO .MDL

Descargar

SUBIR EL FICHERO .MDL:

Examinar...

NÚMERO DE MATRÍCULA :

nmaticula:11111

Ejecutar

Figura 6.20 Página web de la práctica del proyecto integrado Control anticipativo. Los alumnos comprobarán el efecto del control anticipativo en la perturbación.

Para ello, tras descargarse un modelo de Simulink, el estudiante realiza las modificaciones necesarias en los bloques *Regulador* (1), *Regulador 1* (2), *Perturbacion* (3) y *Entrada* (4). En el cálculo del regulador anticipativo (*Regulador 1*) se deberán mantener las especificaciones iniciales a la vez que minimice el efecto de la perturbación (Figura 6.21). Igualmente hay que asegurarse de ajustar en todos los bloques el mismo tiempo de muestreo.

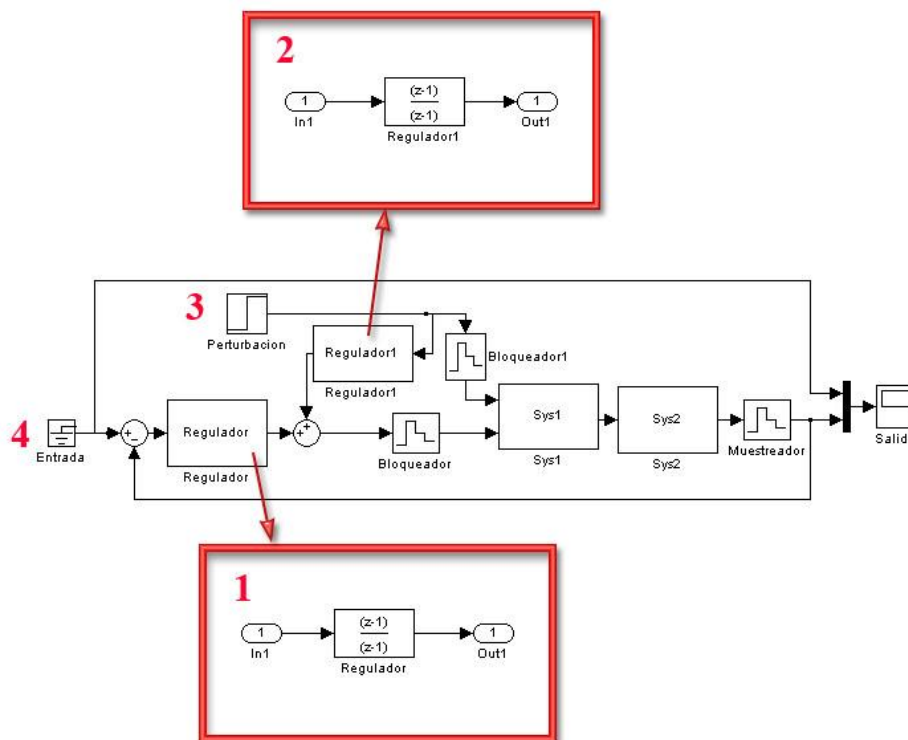


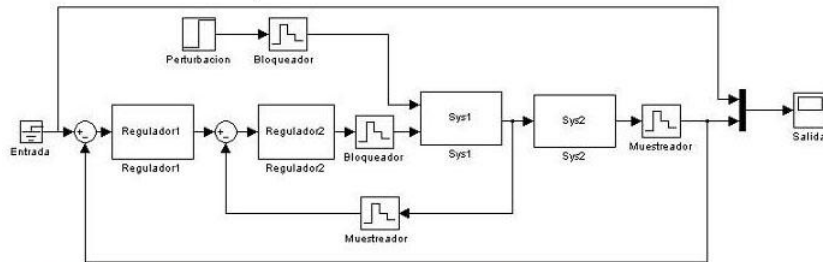
Figura 6.21 Modelo de Simulink descargado de la práctica del proyecto integrado Control anticipativo. Permite modificar los bloques Regulador (1), Regulador 1 (2), Perturbacion (3) y Entrada (4) para obtener la respuesta deseada.

Práctica del proyecto integrado Control en Cascada

Esta práctica desarrollada está enfocada a la última actividad de la tercera parte del proyecto integrado. Tiene como objetivo la comprobación del diseño de los reguladores *Regulador 1* y *Regulador 2* de un esquema de control en cascada. Este diseño debe mantener las especificaciones iniciales y minimizar el efecto de la perturbación. Es una práctica que permite realizar cambios en el esquema de Simulink. El alumno se descarga un modelo de Simulink donde puede modificar los bloques *Perturbacion* (1), *Entrada* (2), *Regulador 1* (3) y *Regulador 2* (4). La Figura 6.22 muestra la página web de la práctica y la Figura 6.23 muestra el modelo Simulink descargado.

PROYECTO INTEGRADO DE REGULACIÓN AUTOMÁTICA I (PARTE III) 3 CONTROL EN CASCADA

A continuación se muestra el esquema de control en cascada.



En esta práctica podrá comprobar el control en cascada ante entrada y perturbación. Descargue el modelo del sistema y coloque los reguladores diseñados por ud dentro de los bloques **Regulador1** y **Regulador2**, debe respetar las entradas y salidas. Además puede modificar los bloques **Entrada** y **Perturbacion**, siempre respetando sus nombres. Por defecto en la perturbación hay un escalón unitario.

Por último suministre su número de matrícula (los cinco dígitos) y luego oprima ejecutar. Se mostrará la gráfica de respuesta del sistema con control en cascada.

Nota: Los alumnos del máster introduzcan solamente los cinco dígitos de su número de matrícula.

DESCARGAR EL FICHERO .MDL

SUBIR EL FICHERO .MDL:

NÚMERO DE MATRÍCULA :
nmatricula:

Figura 6.22 Página web de la práctica del proyecto integrado Control en Cascada. Permite el diseño de los reguladores de un esquema de control en cascada.

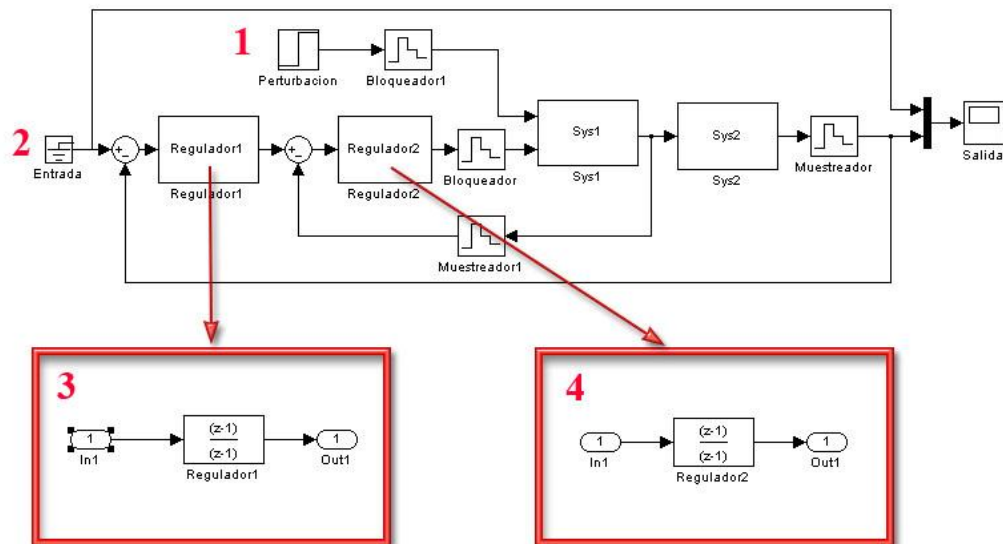


Figura 6.23 Modelo de Simulink descargado de la práctica del proyecto integrado Control en Cascada. Permite modificar los bloques Perturbacion (1), Entrada (2), Regulador 1 (3) y Regulador 2 (4) para obtener la respuesta deseada.

6.4 Uso de la plataforma Sistema de Laboratorio a Distancia (SLD)

A modo de resumen se analiza el acceso al sistema SLD desde el comienzo de su aplicación en la asignatura Regulación Automática.

Desde el curso 2008-2009 hasta el curso 2010-2011 se han registrado más de ocho mil accesos al sistema distribuidos según la Tabla 6.2.

Práctica remota	Simulada	Real	Total
<i>Control de un sistema térmico con regulador PID</i>	355	88	443
<i>Control de un sistema térmico con cambio de regulador</i>	1006	811	1817
<i>Identificación del sistema térmico</i>	-	94	94
<i>Ensayo con un sistema térmico</i>	-	73	73
<i>Control de un sistema térmico con regulador PID y perturbación</i>	46	24	70
<i>Control de un sistema térmico con perturbación y regulador anticipativo</i>	-	13	13
<i>Identificación de un motor de corriente continua</i>	-	42	42
<i>Control de posición de un motor de corriente continua</i>	-	17	17
<i>Proyecto Integrado identificación de sistemas</i>	366	-	366
<i>Proyecto Integrado diseño de reguladores</i>	2718	-	2718
<i>Proyecto Integrado control de realimentación simple</i>	614	-	614
<i>Proyecto Integrado control anticipativo</i>	1001	-	1001
<i>Proyecto Integrado control en cascada</i>	745	-	745
Total	6851	1162	8013

Tabla 6.2 Accesos registrados a las prácticas remotas del sistema SLD desde el curso 2008-2009 hasta el curso 2010-2011.

Del análisis de la tabla se aprecian algunos aspectos que deben ser señalados. Se realiza una mayor cantidad de accesos a las prácticas simuladas que a las reales, esto ocurre debido a que el proyecto integrado es una actividad que

presenta varias entregas y se encuentra realizando desde el curso 2008-2009. El proyecto integrado registra 5444 accesos, es decir un 68%. Del proyecto integrado la mayor cantidad de accesos ocurre en la práctica *Proyecto Integrado diseño de reguladores* debido a que es la parte más compleja del proyecto integrado, además esta parte es usada por los alumnos para comprobar la identificación del sistema de la primera parte.

La otra práctica simulada más accedida es la práctica *Control de un sistema térmico con cambio de regulador*, esto ocurre debido a que esta práctica es la utilizada en el diseño de reguladores discretos en la práctica 3. Esta práctica también es la que más acceso hace a los equipos reales, en este caso al sistema térmico.

Las prácticas de identificación registran menos accesos debido a que solo se realiza con el objetivo de capturar los datos identificados. La identificación del motor tiene menos número de accesos porque es utilizada solo por alumnos que quieran realizar nuevos ensayos a los realizados en la práctica de laboratorio 2.

Por último, las prácticas *Ensayo con un sistema térmico*, *Control de un sistema térmico con regulador PID y perturbación*, *Control de un sistema térmico con perturbación y regulador anticipativo* y *Control de posición de un motor de corriente continua* registran pocos accesos debido a que son prácticas de nueva creación y no se han incluido aún en los guiones.

Otro aspecto que resulta interesante analizar es la cantidad de accesos a las estaciones. Como se ha planteado anteriormente, el laboratorio cuenta con 8 puestos y un servidor donde se desarrollan todas las prácticas simuladas. En todo este tiempo de uso de la plataforma SLD no se aprecian problemas de acceso ni de tráfico, solo se registran colas de espera con una práctica como máximo en la estación 1 en cinco ocasiones. Esta estación 1 es usada para realizar las prácticas con el sistema térmico que presenta una dinámica lenta. La Figura 6.24 muestra los accesos a las diferentes estaciones, el eje del número de accesos está en escala logarítmica debido a la gran diferencia que hay entre el servidor y el resto de las estaciones.

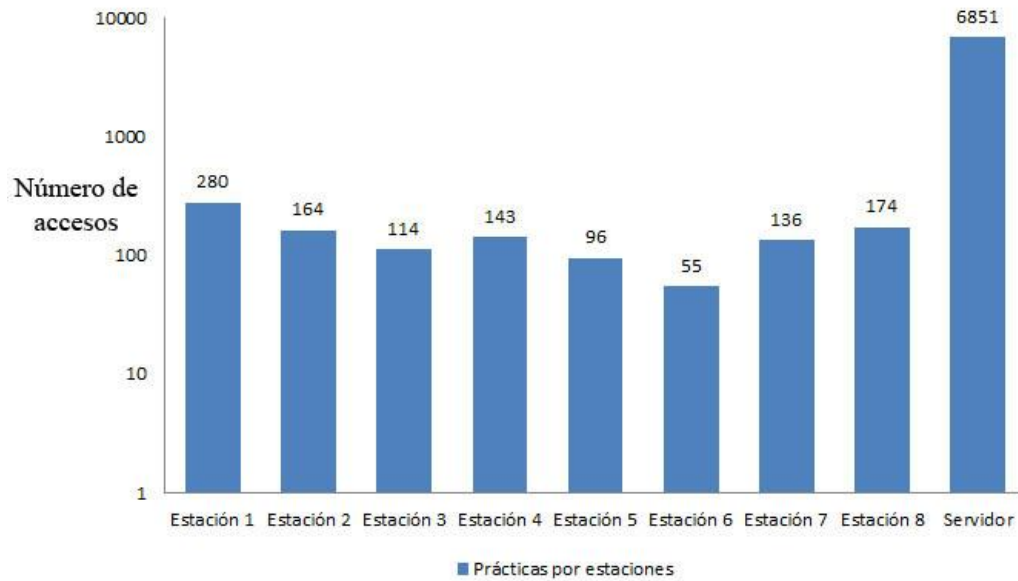


Figura 6.24 Registro de prácticas en cada una de las estaciones y en el servidor.
El eje del número de acceso está en escala logarítmica para apreciar mejor los datos.

Como se puede observar en la figura la mayor cantidad de accesos ocurren en el servidor debido a que este ejecuta todas las prácticas simuladas, mientras que las prácticas remotas reales se ejecutan en el resto de las estaciones. La estación 1 es la que más acceso a las prácticas reales registra debido a ser la primera que estuvo activa. Además, esta estación es la única que actualmente ejecuta las prácticas con perturbación remota. La estación 6 tiene menos accesos debido a que se incorporó en el curso 2010-2011.

CAPÍTULO 7 VALORACIÓN DE LA METODOLOGÍA DOCENTE DESARROLLADA

La evaluación no es un mero acto puntual, debido a que sirve para una mejora continuada del programa, se debe entender como un proceso. La finalidad general de la evaluación es tomar decisiones de cambio y mejora a lo largo del proceso y tras finalizar la intervención de la metodología que se haya aplicado [72].

En esta investigación la valoración se comenzó desde el mismo inicio de la utilización de la metodología lo que provocó una serie de cambios en sus subsiguientes aplicaciones. El trabajo se enmarca entre los cursos 2008-2009 y 2010-2011.

7.1 Valoración de la metodología aplicada

Para la valoración de la metodología propuesta se utilizaron varias técnicas en la recogida de datos como la observación participante, los cuestionarios y las entrevistas. La aplicación de diferentes técnicas permite verificar los resultados y llevar a cabo la discusión de los mismos.

Para el diseño de estas encuestas y entrevistas se tuvieron en consideración elementos planteados por diferentes autores, entre los que se encuentran [17, 46, 61, 62, 105], los cuales contribuyen al rigor en la captación de los datos.

En el diseño de las diferentes técnicas de recogida de datos se utilizó la escala Likert de cinco categorías [197]. Para el análisis, los datos se convierten a una escala numérica de 5 a 1.

Existen diferentes formas para registrar los datos obtenidos durante una investigación, como por ejemplo: lápiz y papel, grabación, vídeo y fotografía [17]. En este trabajo se utilizaron básicamente registros en papel los cuales fueron llevados a formato digital mediante la transcripción o el escaneo.

En esta investigación el profesor es parte activa en la ejecución de las prácticas de laboratorio, problemas propuestos y proyecto integrado de la asignatura, no

solo realiza acciones, sino que actúa, valora y realiza modificaciones a través de la comprensión de las actitudes y rendimiento de los alumnos.

7.1.1 Recogida de los datos en el curso 2008-2009

En el primer curso 2008-2009, la recogida de datos se logró en un principio mediante la observación participante realizada durante la realización de las prácticas de laboratorio. Además, se realizó una encuesta y una entrevista grupal a los estudiantes al finalizar el período lectivo, antes del examen final de la asignatura. En este curso la investigación fue piloto debido a que era la primera vez en que se introducía el uso de los laboratorios remotos en la asignatura y, además el desarrollo del proyecto integrado variaba sustancialmente con respecto a cursos anteriores. Por todo lo anterior los datos solo se tomaron como una guía para realizar las modificaciones necesarias para el próximo curso 2009-2010.

Observación participante en la ejecución de las prácticas de laboratorio con sistemas físicos reales

La observación participante durante la ejecución de las tres prácticas de laboratorio fue sistémica y directa. La guía de observación se realizó tomando en consideración cómo eran cumplidos los aspectos siguientes:

1. La sistematización de los conocimientos en las prácticas de laboratorio. Se valora el desarrollo de la práctica con respecto a las anteriores. Se considera la preparación previa de los alumnos, que incluye haber realizado los ejercicios de autoevaluación y contar con los conocimientos teóricos para desarrollar la actividad.
2. La motivación durante el desarrollo de cada práctica de laboratorio. Se valora el interés mostrado por los alumnos en el trabajo con equipos reales.
3. La ejecución de las modalidades en las prácticas de laboratorio. Se tiene en cuenta para las prácticas en las que el guión incluye actividades de acceso remoto.
4. El desarrollo de las prácticas en relación con los sistemas de tiempo real. Se valora la adquisición de habilidades en el manejo de los equipos reales, conexionado, etc.

5. La culminación en tiempo de cada práctica. En este aspecto se considera cómo fue el desarrollo de la práctica en cuanto a resultados obtenidos y su ajuste en el tiempo.

Para la ponderación de cada uno de estos aspectos se establece una escala valorativa entre 5 y 1, donde 5 corresponde a la máxima ponderación y 1 a la mínima según la escala Likert. Esta valoración se realiza de manera global al grupo de estudiantes en cada práctica de laboratorio.

El resumen de los datos obtenidos sobre los aspectos establecidos para la guía de observación participante en las prácticas de laboratorio del curso 2008-2009 aparece en la tabla del Anexo 11. Este resumen posibilita el análisis de cada uno de estos aspectos. En la gráfica de la Figura 7.1 se muestra los resultados de cada uno de los aspectos analizados en las prácticas desarrolladas este curso. El aspecto 3 sobre la modalidad en la ejecución no se muestra debido a que todas las prácticas se desarrollaron de forma presencial.

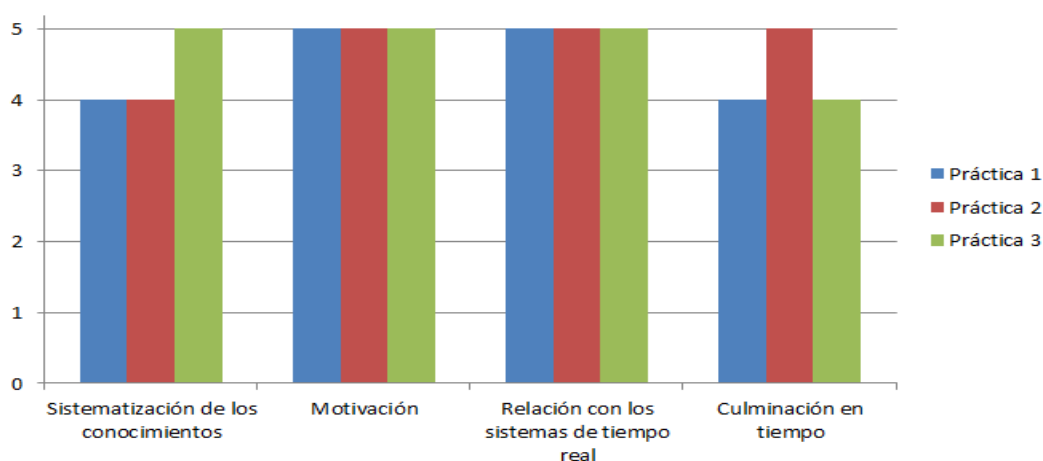


Figura 7.1 Resultados obtenidos en la observación participante de las prácticas de laboratorio con sistemas físicos del curso 2008-2009. En este curso todas las prácticas se desarrollaron de forma presencial.

En el aspecto relacionado con la sistematización de conocimientos en las prácticas de laboratorio se observa que no todos los estudiantes acostumbran a leerse el guión de prácticas previamente almacenado en la plataforma AulaWeb, por lo que llegan sin conocer los objetivos de la actividad. En la práctica 1 “Implementación de reguladores continuos” los estudiantes, a pesar de haber cursado en asignaturas previas el diseño de reguladores continuos PID, no poseen todos los conocimientos necesarios. Además, al ser la primera

actividad práctica, los estudiantes no poseen habilidades en el conexionado de la tarjeta de adquisición con la maqueta térmica. Por todo lo anterior el profesor realiza una explicación inicial en cada actividad. En la práctica 2 “Identificación de sistemas”, se nota poca habilidad de los alumnos en el uso de la herramienta de identificación idet. La práctica 3 “Diseño de reguladores discretos” demuestra ser uno de los temas más complejos de la asignatura. Sin embargo en esta actividad se constata que los estudiantes manejan mejor el conexionado de los equipos. En esta actividad realizan la implementación de un regulador discreto con LabVIEW que previamente hubo de diseñarse a partir de una tarea orientada en clases. En general se comprueba que, al finalizar las prácticas de laboratorio, los estudiantes poseen una adecuada concepción acerca de los sistemas de tiempo real, la identificación de sistemas y el diseño de reguladores discretos.

En cuanto al aspecto de la motivación durante el desarrollo de cada práctica de laboratorio, se nota interés por parte de la mayoría de los estudiantes, especialmente por los de la especialidad de Automática y Electrónica. Los alumnos constatan las diferencias que existen entre la simulación y el control con equipos reales. Algunos estudiantes realizan preguntas al profesor sobre temas de tiempo real y la posibilidad de desarrollar actividades de este tipo en casa.

Para este curso 2008-2009, las prácticas solo se realizaron en la modalidad presencial en el laboratorio, pero se valoró la posibilidad de que se realizasen también de forma remota en cursos posteriores. A pesar de estar activas las prácticas remotas “Control de un sistema térmico con regulador PID”, “Identificación de un motor de corriente continua” y “Control de un sistema térmico con posibilidad de cambio de regulador” equiparables con las prácticas reales 1, 2 y 3 respectivamente, fueron muy poco utilizadas. Esto ocurrió principalmente por el desconocimiento de los estudiantes y dado que su acceso era opcional en la asignatura.

Los estudiantes van adquiriendo habilidades en el conexionado y manejo de los equipos, tanto de la maqueta térmica como del motor de corriente continua, en la práctica 1 “Implementación de reguladores continuos” y en la práctica 2 “Identificación de sistemas”. Aprenden como implementar sistemas en tiempo real mediante el uso de Simulink. También adquieren habilidades en la captura de resultados, así como en el manejo de los mismos. La práctica 3 “Diseño de

reguladores discretos” posibilita la implementación de reguladores con LabVIEW. Se observa al final del curso una adecuada preparación de los alumnos en los temas de tiempo real y en el manejo de equipos.

Relacionado con la culminación en tiempo de cada práctica, en general se pudo constatar que las prácticas concluyeron de forma exitosa, en muy pocos casos los estudiantes tuvieron que regresar en otros horarios a completar tareas pendientes. Las prácticas se ajustaron al tiempo asignado para cada actividad, aunque la práctica 3 “Diseño de reguladores discretos” debido a su complejidad se demoró algo más de lo normal. Los estudiantes realizaron correctamente los puntos del guión, pero se notó que no había posibilidad, por cuestiones de tiempo, de que realizaran ensayos de nuevos experimentos. Esto ocurrió principalmente en la práctica 1 “Implementación de reguladores continuos” y en la práctica 3 “Diseño de reguladores discretos”. También se observó que los alumnos emplearon de 20 a 30 minutos en el conexionado de los equipos y en la programación de los modelos para realizar ensayos. Luego la mayor demora de tiempo está en la adquisición de datos y en el diseño del regulador. Todo esto permite concluir que la combinación adecuada de experimentos en el laboratorio con experimentos remotos podría ser una variante factible para eliminar las restricciones de tiempo observadas.

Encuesta sobre la asignatura Regulación Automática I

Una vez terminada la asignatura Regulación Automática, y antes del examen final, se realizó una encuesta sobre la asignatura. Se tomaron como indicadores la dedicación de los estudiantes a la asignatura y la realización de los trabajos prácticos tal y como aparecen en la Tabla 7.1.

El modelo de la encuesta aparece en el Anexo 12 y un resumen de los resultados obtenidos en el Anexo 13. Esta encuesta se aplicó a todos los estudiantes y tuvo carácter anónimo. Los resultados de la encuesta demuestran que hubo una gran dedicación a la asignatura. Los estudiantes asistieron como promedio a más de un 90% de las clases de teoría y realizaron en su inmensa mayoría la totalidad de los trabajos prácticos, tanto los programados en las aulas F5 y F6 como los del laboratorio de prácticas. Según la encuesta los estudiantes dedicaron casi seis horas semanales de estudio a la asignatura y solo al proyecto integrado le dedicaron una cantidad de 30 horas como promedio. En cuanto al número de horas que dedicarían para prepararse el

examen, los estudiantes plantearon una necesidad de casi 30 horas como promedio lo cual denota la complejidad de la asignatura.

Preguntas	Indicadores
Porcentaje de clases de teoría a las que he asistido ____	Dedicación a la asignatura
De los 6 trabajos prácticos de las aulas F5 y F6 he realizado ____	Dedicación a la asignatura
De los trabajos prácticos del laboratorio he realizado ____	Dedicación a la asignatura
He estudiado ____ horas semanales de media para preparar esta asignatura (incluye el proyecto)	Dedicación a la asignatura
He trabajado un total de ____ horas para realizar el proyecto integrado de la asignatura	Dedicación a la asignatura
Estimo que estudiaré ____ horas próximamente para preparar el examen de la asignatura	Dedicación a la asignatura
Los trabajos prácticos son todos de interés para comprender la asignatura	Trabajos prácticos
El número de trabajos prácticos y clases teóricas está equilibrado	Trabajos prácticos
El proyecto integrado me ha servido para entender mejor la asignatura	Trabajos prácticos
El tiempo para la realización del proyecto integrado fue suficiente	Trabajos prácticos
Me fue fácil usar el Sistema de Laboratorios a Distancia (SLD) en el proyecto integrado	Trabajos prácticos

Tabla 7.1 Preguntas e indicadores de la encuesta aplicada a los alumnos de Regulación Automática en el curso 2008-2009.

En cuanto a las preguntas relacionadas con el indicador de “Trabajos prácticos” se obtuvieron buenos resultados. Los estudiantes valoraron positivamente los trabajos prácticos desarrollados y consideraron que se encontraban equilibrados con las clases de teoría. Además, los alumnos consideraron que el proyecto integrado era una actividad de mucho valor para la comprensión de la asignatura pero consideraron que el tiempo destinado a su realización no era suficiente. A juicio de los profesores no hubo constancia en la realización del proyecto integrado lo que provocó en muchos casos pérdida de tiempo en su

realización. Finalmente hubo una buena valoración por parte de los estudiantes en el uso del Sistema de Laboratorios a Distancia para la realización del proyecto integrado teniendo en cuenta que era el primer año de su uso.

Entrevista grupal a los alumnos

Además de la encuesta anterior se realizó una entrevista abierta grupal, para que los estudiantes emitiesen sus criterios y buscar consenso entre sus planteamientos. En esta entrevista participaron la mayoría de los estudiantes. Esta actividad se efectuó con posterioridad a la realización de la encuesta. Se percibió de manera general que los planteamientos fueron críticos.

De los planteamientos efectuados por los alumnos se destacan varias consideraciones que a continuación se exponen. Los estudiantes plantean que el tiempo que dedican al proyecto integrado debería tener un mayor peso en la nota final de la asignatura. En algunos casos plantean que hubo problemas de orientación en el mismo. No obstante, consideran que el proyecto integrado posibilita entender mejor la asignatura y reforzar los conocimientos adquiridos. Igualmente plantean que la asignatura presenta una carga de trabajo muy elevada en comparación con otras de igual cantidad de créditos.

Algunos estudiantes plantean que se debería aumentar la cantidad de problemas en clases con vistas a entender mejor la asignatura. Es un consenso de los alumnos la necesidad de disponer de exámenes de cursos anteriores con vistas a prepararse mejor para el examen final.

Discusión de los resultados del curso 2008-2009

Como ya se ha mencionado anteriormente, en el curso 2008-2009 la investigación fue piloto. Por todo lo anterior los datos solo se tomaron como una guía para realizar las modificaciones necesarias para el próximo curso 2009-2010. Del análisis de los datos tomados surgió la posibilidad de modificar el peso del proyecto integrado en la nota final de la asignatura. También se mejoraron los enunciados del proyecto integrado para un mejor entendimiento.

En cuanto a las prácticas remotas se decidió incorporarlas de forma paulatina en la asignatura con vistas a explotar sus ventajas.

7.1.2 Recogida de los datos en el curso 2009-2010

En el curso 2009-2010 se realizó la observación participante en las prácticas de laboratorio, así como una encuesta y una entrevista grupal nuevamente al final del período lectivo antes del examen final. Del análisis de estos datos se realizó una corrección de la metodología la cual fue aplicada en el curso 2010-2011.

Observación participante en la ejecución de las prácticas de laboratorio con sistemas físicos reales

Se realiza nuevamente una observación participante durante la ejecución de las tres prácticas de laboratorio. La guía de observación se realizó tomando en consideración cómo eran cumplidos los mismos aspectos analizados en el curso pasado:

1. La sistematización de los conocimientos en las prácticas de laboratorio. Se valora el desarrollo de la práctica con respecto a las anteriores. Se considera la preparación previa de los alumnos, que incluye haber realizado los ejercicios de autoevaluación y contar con los conocimientos teóricos para desarrollar la actividad.
2. La motivación durante el desarrollo de cada práctica de laboratorio. Se valora el interés mostrado por los alumnos en el trabajo con equipos reales.
3. La ejecución de las modalidades en las prácticas de laboratorio. Se tiene en cuenta para las prácticas en las que el guión incluye actividades de acceso remoto.
4. El desarrollo de las prácticas en relación con los sistemas de tiempo real. Se valora la adquisición de habilidades en el manejo de los equipos reales, conexionado, etc.
5. La culminación en tiempo de cada práctica. En este aspecto se considera cómo fue el desarrollo de la práctica en cuanto a resultados obtenidos y su ajuste en el tiempo.

Al igual que en el curso anterior, para la ponderación de cada uno de estos aspectos se establece una escala valorativa entre 5 y 1, donde 5 corresponde a la máxima ponderación y 1 a la mínima según la escala Likert. Esta valoración se realiza de manera global al grupo de estudiantes en cada práctica de laboratorio. El resumen de los datos obtenidos sobre los aspectos establecidos para la guía de observación participante en las prácticas de laboratorio del

curso 2009-2010 aparecen en la tabla del Anexo 14. Este resumen posibilita el análisis de cada uno de estos aspectos. En la gráfica de la Figura 7.2 se muestran los resultados de cada uno de los aspectos analizados en las prácticas desarrolladas este curso.

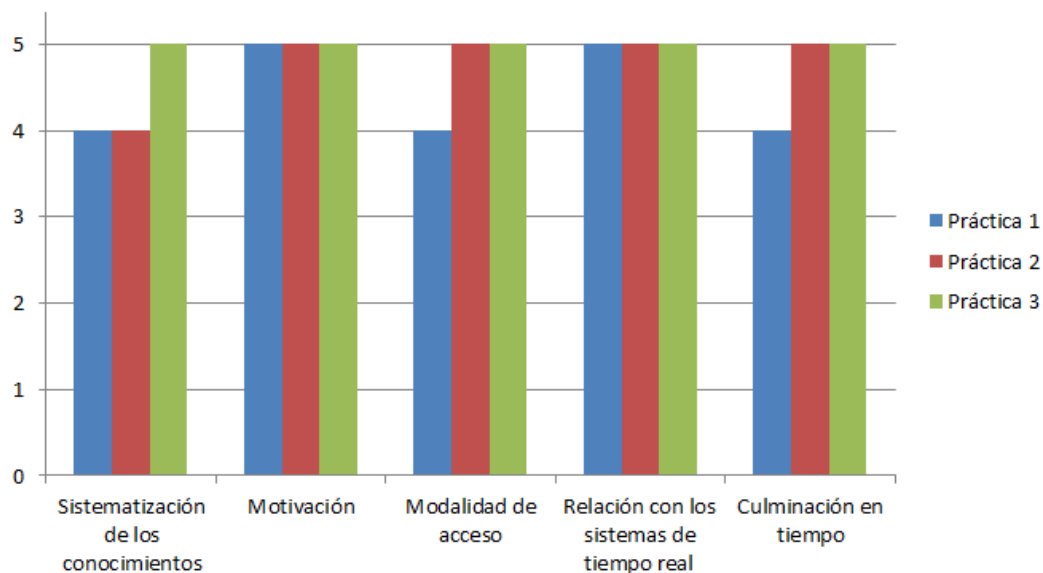


Figura 7.2 Resultados obtenidos en la observación participante de las prácticas de laboratorio con sistemas físicos del curso 2009-2010. En este curso se realizan prácticas a distancia por primera vez.

En cuanto al primer aspecto de sistematización de los conocimientos en las prácticas de laboratorio se observó resultados muy semejantes al curso anterior. Al finalizar las prácticas de laboratorio, se percibe que los estudiantes poseen una adecuada concepción acerca de los sistemas de tiempo real, la identificación de sistemas y el diseño de reguladores discretos.

Nuevamente se observa una buena motivación con las prácticas desarrolladas. Adicionalmente, y a diferencia del curso anterior, se muestra un marcado interés en el desarrollo de los experimentos remotos. Los alumnos realizan las actividades propuestas mediante el uso de los experimentos remotos. En la práctica 2 “Identificación de sistemas” realizan el experimento remoto “Identificación de un sistema térmico”. En la práctica 3 ajustan e implementan un regulador discreto para el sistema térmico de forma remota. En esta actividad se les introduce en la programación gráfica LabVIEW e implementan un regulador PID, lo que denota un interés en los estudiantes.

Las mayores diferencias con respecto al curso anterior están relacionadas con el aspecto de la ejecución de las prácticas de laboratorio. En este curso 2009-2010 se mantiene la práctica remota “Control de un sistema térmico con regulador PID” para la práctica 1 “Implementación de reguladores continuos” de una forma opcional, con el fin de que los alumnos realizaran nuevos ensayos desde casa y analizaran los efectos de la acción proporcional, integral y derivativa. Se aprecia en este sentido un mayor número de accesos con respecto al curso anterior. En la práctica 2 “Identificación de sistemas” se añade un punto en el guión de la práctica para realizarla completamente de forma remota. La actividad a realizar consiste en la identificación del sistema térmico, para esto es necesario que los alumnos se conecten remotamente y adquieran los datos necesarios. En esta actividad se hace uso de la práctica remota “Identificación de un sistema térmico”. Además se mantiene activa la práctica remota “Identificación de un motor de corriente continua” para que los alumnos puedan realizar nuevos experimentos desde casa si fuera necesario. En la práctica 3 “Diseño de reguladores discretos”, se les propone el experimento remoto “Control de un sistema térmico con posibilidad de cambio de regulador”. Esta práctica remota es utilizada por los alumnos para el diseño de un regulador discreto y su posterior implementación en el sistema térmico.

Respecto al desarrollo de las prácticas en relación con los sistemas de tiempo real, no se muestran grandes diferencias con el curso anterior. Los estudiantes adquieren habilidades en el conexionado y manejo de los equipos, tanto de la maqueta térmica como del motor de corriente continua, y aprenden la forma de implementar sistemas en tiempo real mediante el uso de Simulink. Al mismo tiempo adquieren mayores habilidades en el uso de la experimentación remota. La incorporación de LabVIEW permite que los estudiantes adquieran habilidades en el control en tiempo real con otro software. Se observa al final del curso una adecuada preparación de los estudiantes en los temas de tiempo real y manejo de equipos.

En cuanto a la culminación en tiempo de cada práctica, en general se mantienen los resultados obtenidos en el curso anterior. Se pudo constatar que las prácticas concluyeron de forma exitosa. Los estudiantes que no pudieron terminar en tiempo la actividad, la pudieron realizar desde casa a través de la experimentación remota. Se evidenció que la combinación de los experimentos en el laboratorio con los experimentos remotos permitía a los estudiantes ganar

en tiempo en las prácticas. Esta metodología posibilita al estudiante realizar nuevos ensayos remotos desde casa.

Encuesta sobre la asignatura Regulación Automática I

Una vez terminada la asignatura Regulación Automática y antes del examen final del curso 2009-2010 se aplicó nuevamente una encuesta sobre la asignatura, específicamente sobre las actividades prácticas. Se tomaron como indicadores en la encuesta una caracterización del alumno, las actividades prácticas en el laboratorio y la realización de los experimentos remotos incluyendo el proyecto integrado tal y como aparece en la Tabla 7.2.

Preguntas	Indicadores
Me gusta realizar prácticas con dispositivos reales	Caracterización del alumno
Conocía antes de utilizar el SLD el término de laboratorio virtual/remoto	Caracterización del alumno
He accedido con anterioridad a sistemas semejantes a este	Caracterización del alumno
Las prácticas reales en el laboratorio fueron muy importantes para mi formación	Prácticas reales en el laboratorio
La cantidad de prácticas reales en el laboratorio fue adecuada	Prácticas reales en el laboratorio
Pude realizar ensayos adicionales a los guiones con los dispositivos reales	Prácticas reales en el laboratorio
El horario de las prácticas reales en el laboratorio me fue cómodo	Prácticas reales en el laboratorio
Es fácil utilizar el SLD	Prácticas de forma remota
El ambiente del sistema es agradable	Prácticas de forma remota
Puedo acceder al SLD fácilmente desde cualquier ordenador	Prácticas de forma remota
La velocidad de respuesta del sistema es buena	Prácticas de forma remota
El SLD me ha sido de utilidad para mi aprendizaje	Prácticas de forma remota
Recomendaría este sistema a otros estudiantes	Prácticas de forma remota

Tabla 7.2 Preguntas e indicadores de la encuesta aplicada a los alumnos de Regulación Automática en el curso 2009-2010.

El modelo de la encuesta aparece en el Anexo 15 y un resumen de los resultados obtenidos en el Anexo 16. Esta encuesta se aplicó a todos los estudiantes y tuvo carácter anónimo.

Del análisis de los resultados de la encuesta se demuestra que a los alumnos les motiva la realización de ensayos con equipos reales. Sin embargo no conocen ni han utilizado con anterioridad los laboratorios virtuales y remotos.

Las prácticas reales desarrolladas en el laboratorio son bien valoradas por los alumnos y las consideraron muy importantes para su formación. Además los alumnos plantearon que el número de prácticas realizadas en el laboratorio fueron adecuadas. No obstante consideraron que el tiempo de realización de las mismas no les permitía desarrollar nuevos ensayos con los equipos reales. Respecto al horario de uso de los equipos, evaluaron que les fue aceptablemente cómodo.

En cuanto al desarrollo de las prácticas remotas la evaluación fue muy buena. Los alumnos evaluaron positivamente la facilidad de uso y el entorno del Sistema de Laboratorios a Distancia (SLD). De igual forma los estudiantes consideraron que no existieron problemas con el acceso al sistema SLD y que la velocidad de respuesta del mismo fue buena. La pregunta sobre la utilidad del sistema en el aprendizaje fue menor puntuada pero de forma positiva. Por último los alumnos concluyeron que recomendarían este sistema a otros estudiantes para su uso.

Entrevista grupal a los alumnos

Al igual que en el curso anterior, además de la encuesta se realizó una entrevista abierta grupal, para que los estudiantes emitiesen sus criterios y buscar consenso entre sus planteamientos. En esta entrevista participaron la mayoría de los estudiantes. Esta actividad se efectuó con posterioridad a la realización de la encuesta. Los planteamientos realizados fueron críticos.

De los planteamientos efectuados por los estudiantes, se relacionan a continuación los más destacados. Los estudiantes plantearon que en algunas prácticas del proyecto integrado hubo problemas en la respuesta obtenida por el sistema SLD. Se observó que había diferencias con la respuesta dada por la plataforma SLD con respecto a la obtenida con MATLAB. Esto fue analizado y corregido el error. En cuanto al acceso al SLD, consideraron que era bueno pero sugirieron ampliar el horario de utilización y extenderlo a los fines de

semana. En la entrevista algunos estudiantes plantearon elevar la cantidad de actividades prácticas con vistas a reforzar el conocimiento teórico.

En cuanto a la carga de trabajo los estudiantes estimaron que era elevado el tiempo de dedicación para el proyecto integrado y que puntuaba poco en la nota final. También plantearon que la mayor carga de trabajo se concentraba al final del semestre. En este curso los alumnos consideraron que no hubo dificultades con el enunciado del proyecto integrado.

Discusión de los resultados del curso 2009-2010

Teniendo en cuenta los buenos resultados obtenidos en las prácticas remotas se planteó continuar incorporándolas en la asignatura en el próximo curso. Se analizó el tiempo de dedicación al proyecto integrado y se decidió limitarlo a una semana para cada parte, con una semana intermedia de descanso. Además se decidió aumentar a un 25% la aportación del proyecto integrado en la nota final de la asignatura.

7.1.3 Recogida de los datos en el curso 2010-2011

En el curso 2010-2011, último curso analizado en esta investigación, se realizó la observación participante en las prácticas de laboratorio. En este curso, dada la elevada carga del estudiante, no se realizó la práctica 3 de forma presencial en el laboratorio. Al igual que en los cursos anteriores, se realizó una encuesta y una entrevista grupal al finalizar las clases y antes del examen final. Este curso sirvió para validar la metodología propuesta que, aunque no es definitiva, contiene los elementos fundamentales.

Observación participante en la ejecución de las prácticas de laboratorio con sistemas físicos reales

La observación participante realizada durante la ejecución de las tres prácticas de laboratorio mantiene los aspectos analizados en cursos anteriores en la guía de observación.

1. La sistematización de los conocimientos en las prácticas de laboratorio. Se valora el desarrollo de la práctica con respecto a las anteriores. Se considera la preparación previa de los alumnos, que incluye haber realizado los ejercicios de autoevaluación y contar con los conocimientos teóricos para desarrollar la actividad.

2. La motivación durante el desarrollo de cada práctica de laboratorio. Se valora el interés mostrado por los alumnos en el trabajo con equipos reales.
3. La ejecución de las modalidades en las prácticas de laboratorio. Se tiene en cuenta para las prácticas en las que el guión incluye actividades de acceso remoto.
4. El desarrollo de las prácticas en relación con los sistemas de tiempo real. Se valora la adquisición de habilidades en el manejo de los equipos reales, conexionado, etc.
5. La culminación en tiempo de cada práctica. En este aspecto se considera cómo fue el desarrollo de la práctica en cuanto a resultados obtenidos y su ajuste en el tiempo.

De igual forma que en los cursos anteriores, para la ponderación de cada uno de estos aspectos se establece una escala valorativa entre 5 y 1, donde 5 corresponde a la máxima ponderación y 1 a la mínima según la escala Likert. Esta evaluación se realiza de manera global al grupo de estudiantes en cada práctica de laboratorio.

El resumen de los datos obtenidos sobre los aspectos establecidos para la guía de observación participante en las prácticas de laboratorio del curso 2010-2011, aparecen en la tabla del Anexo 17. Este resumen posibilita el análisis de cada uno de estos aspectos. En la gráfica de la Figura 7.3 se muestra los resultados de cada uno de los aspectos analizados en las prácticas desarrolladas este curso.

En el primer aspecto de sistematización de los conocimientos en las prácticas de laboratorio se observaron resultados muy semejantes a los cursos anteriores. En este curso se introdujo desde la primera práctica el diseño del modelo en Simulink para el trabajo en tiempo real, lo que posibilitó adquirir con mayor rapidez esta habilidad. En la segunda práctica los estudiantes diseñan su propio modelo de Simulink para la identificación del motor de corriente continua. En la última práctica se realiza el diseño de reguladores discretos de forma remota. Al finalizar las prácticas de laboratorio se percibe que los estudiantes poseen una adecuada concepción acerca de los sistemas de tiempo real, la identificación de sistemas y el diseño de reguladores discretos.

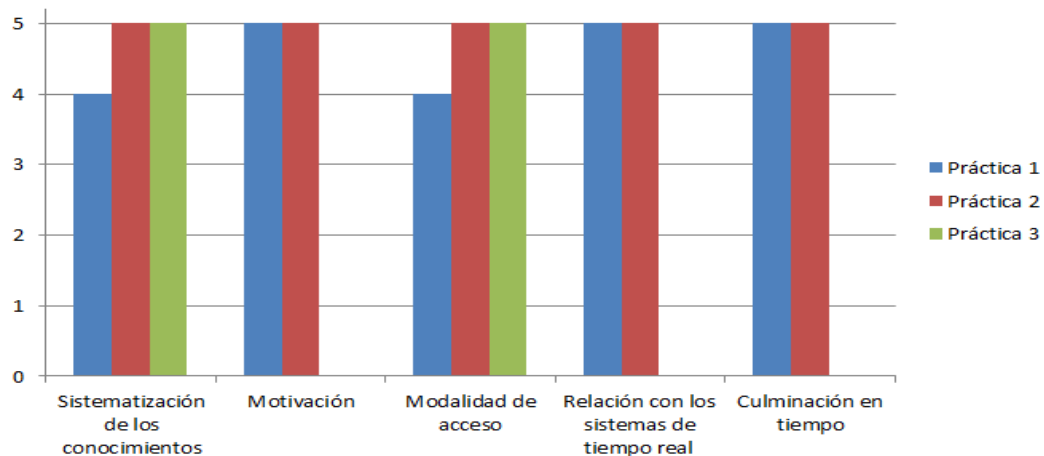


Figura 7.3 Resultados obtenidos en la observación participante de las prácticas de laboratorio con sistemas físicos del curso 2010-2011. En este curso se incrementa la cantidad de prácticas a distancia.

Se observa una buena motivación con las prácticas desarrolladas. Se percibe un alto interés en el desarrollo de los experimentos remotos. Los alumnos realizan las actividades propuestas mediante el uso de los experimentos remotos. En la práctica 2 “Identificación de sistemas”, se ejecuta el experimento remoto “Identificación de un sistema térmico”. En la práctica 3 se realiza el diseño del regulador discreto completamente de forma remota utilizando el experimento remoto “Control de un sistema térmico con posibilidad de cambio de regulador”.

En cuanto a la culminación en tiempo de cada práctica, en general se mantienen los resultados obtenidos en los cursos anteriores. Se pudo constatar que las prácticas concluyeron de forma exitosa.

Encuesta sobre la asignatura Regulación Automática I

Nuevamente al finalizar el curso 2010-2011 se realiza una encuesta sobre la asignatura Regulación Automática, específicamente sobre las actividades prácticas.

Se incluyó en la encuesta el indicador de dedicación a la asignatura para poder evaluar los cambios realizados en este curso. Se tomaron además como indicadores las actividades prácticas en el laboratorio y la realización de los experimentos remotos incluyendo el proyecto integrado como aparecen en la Tabla 7.3.

Preguntas	Indicadores
En qué medida Ud. considera que los trabajos prácticos son de interés para comprender la asignatura.	Prácticas reales en el laboratorio
Cómo considera la relación de actividades prácticas con relación a las clases teóricas.	Prácticas reales en el laboratorio
Cómo evalúa su preparación inicial para enfrentar las actividades prácticas luego de realizar los ejercicios de autoevaluación en AulaWeb.	Prácticas reales en el laboratorio
Me ha sido útil para mi aprendizaje realizar ensayos con dispositivos reales en el laboratorio.	Prácticas reales en el laboratorio
Me ha sido útil para mi aprendizaje realizar ensayos con dispositivos reales de forma remota desde la casa.	Prácticas reales en el laboratorio
La combinación de actividades en el laboratorio con actividades remotas desde casa comprueba habilidades y conocimientos.	Prácticas de forma remota
En qué medida el proyecto integrado le ha servido para entender mejor la asignatura.	Prácticas de forma remota
Cómo valora el funcionamiento del Sistema de Laboratorio a Distancia (SLD) como herramienta de acceso remoto a dispositivos físicos reales.	Prácticas de forma remota
Las prácticas remotas desarrolladas a través del Sistema de Laboratorios a Distancia (SLD) las considera como:	Prácticas de forma remota
Recomendaría a otros alumnos utilizar el Sistema de Laboratorios a Distancia (SLD) como herramienta complementaria para el aprendizaje de la asignatura.	Prácticas de forma remota
En relación con los laboratorios remotos se considera Ud. motivado por los mismos.	Prácticas de forma remota
Cómo evalúa su dedicación al desarrollo del proyecto integrado.	Dedicación a la asignatura
Cómo valora su dedicación a la asignatura de forma general.	Dedicación a la asignatura
Cómo considera su preparación para enfrentar el examen final de la asignatura.	Dedicación a la asignatura

Tabla 7.3 Preguntas e indicadores de la encuesta aplicada a los alumnos de Regulación Automática en el curso 2010-2011.

El modelo de la encuesta aparece en el Anexo 18 y un resumen de los resultados obtenidos en el Anexo 19. Esta encuesta se aplicó a todos los estudiantes y tuvo carácter anónimo.

Del análisis de los resultados de la encuesta se demuestra que los alumnos consideran que los trabajos prácticos son de interés para comprender la asignatura. Valoran que la relación entre las actividades prácticas y las clases teóricas es buena. Sin embargo, se sentían preparados de forma regular para realizar las prácticas de laboratorio luego de realizar los ejercicios de autoevaluación en AulaWeb.

Los alumnos valoran que realizar ensayos con dispositivos reales en el laboratorio y desde casa, de forma remota, es bastante útil para su aprendizaje, aunque puntúan mejor las prácticas en laboratorio. A lo que concluyen que la combinación de las actividades en el laboratorio con las remotas desde casa comprueba suficientemente las habilidades y los conocimientos. En relación al proyecto integrado consideran que les ha servido bastante para entender mejor la asignatura.

Los estudiantes valoran positivamente el funcionamiento del Sistema de Laboratorio a Distancia (SLD) como herramienta de acceso remoto a dispositivos físicos reales, así como las prácticas remotas desarrolladas a través del mismo. A pesar de no haber puntuado con un alto valor la motivación con los laboratorios remotos, si recomendarían a otros alumnos utilizar el Sistema de Laboratorios a Distancia (SLD) como herramienta complementaria para el aprendizaje de la asignatura.

En el aspecto de dedicación a la asignatura, los alumnos consideran elevada la dedicación a la asignatura en general y al proyecto integrado en particular. En el momento de la encuesta se consideraban preparados de forma regular para el examen final.

Entrevista grupal a los alumnos

En el curso 2010-2011, al igual que en los cursos anteriores, se realizó una entrevista abierta grupal. En esta entrevista participaron la mayoría de los estudiantes. Esta actividad se efectuó con posterioridad a la realización de la encuesta y los planteamientos realizados fueron críticos.

Los principales planteamientos estuvieron relacionados con la carga de trabajo en el curso. Los estudiantes consideran que es elevada, en especial el proyecto integrado. Sin embargo no hubo planteamientos relacionados con el tiempo que se les asignó para las dos primeras partes del proyecto integrado, por lo que los profesores consideraron acertada la limitación a una semana. En el caso de la tercera parte, se planteó que el tiempo era poco debido a que coincidía con exámenes de otras asignaturas, lo que no debió ocurrir debido a que se encontraban aún en período de clases.

A pesar de que el 25% de la nota final lo aporta el proyecto integrado, algunos alumnos consideraron que era escaso. Se les explica que este porcentaje se ve incrementado al incluir en el examen final preguntas relacionadas con el propio proyecto integrado.

Los alumnos plantearon que la carga mayor se encuentra al final del semestre por lo que el entusiasmo decae. Esto ocurre principalmente porque los temas que se manejan en el proyecto integrado aparecen al final del semestre, mientras que en el inicio del curso se van presentando los aspectos teóricos necesarios para su entendimiento. Algunos alumnos consideraron innecesario el examen final.

Con respecto a las prácticas de laboratorio los alumnos las valoraron positivamente y algunos sugirieron dar prácticas en LabVIEW. Esta actividad no se pudo realizar debido a la alta carga de trabajo de los estudiantes al finalizar el semestre.

En relación a las actividades remotas los estudiantes plantearon que eran interesantes y consideraron necesario incorporar en los horarios de acceso las noches y los fines de semana.

En opinión de varios alumnos, las actividades prácticas en general son muy útiles y una forma mucho mejor de entender la asignatura.

Discusión de los resultados del curso 2010-2011

De la triangulación de los datos recogidos se destaca que la combinación de las prácticas en el laboratorio con los experimentos remotos ha tenido buenos resultados de aceptación entre los estudiantes. Además se nota su efectividad en la adquisición de competencias en los alumnos, aprovechando las ventajas de ambas variantes. Queda demostrado que las prácticas remotas no deben

sustituir completamente a las actividades en el laboratorio. El proyecto integrado resulta ser una actividad con grandes posibilidades formativas.

En la Tabla 7.4 se muestra la evolución de las prácticas de laboratorio.

Nombre de la práctica	Curso		
	2008-2009	2009-2010	2010-2011
Implementación de reguladores continuos	Presencial Remota opcional	Presencial Remota opcional	Presencial Remota opcional
Identificación de sistemas	Motor presencial Remota opcional	Motor presencial Motor remota nuevos ensayos Sistema térmico remota	Motor presencial Motor remota nuevos ensayos Sistema térmico remota
Diseño de reguladores discretos	LabVIEW presencial Remota opcional	LabVIEW presencial Remota para parte del guión	Remota completamente

Tabla 7.4 Evolución de las prácticas de Regulación Automática desde el curso 2008-2009 hasta el 2010-2011. Se incorporan de forma gradual las actividades a distancia.

A modo de resumen se puede plantear que se ha realizado un análisis de los datos recogidos en cada curso. Este análisis ha servido de base para las modificaciones incluida en los cursos posteriores. Las prácticas remotas han sido introducidas de forma gradual en la asignatura con buenos resultados. Se ha comprobado que el proyecto integrado es una actividad de un gran valor formativo. La metodología desarrollada, aunque mejorable, permite la preparación de los estudiantes. Esto se evidencia en el porcentaje elevado de aprobados en la asignatura y en la opinión de las encuestas realizadas. En la gráfica de las Figura 7.4 se muestra un resumen de los resultados obtenidos en los dos últimos cursos de la investigación. De todos los aspectos analizados se relacionan los siguientes:

1. En qué medida Ud. considera que los trabajos prácticos son de interés para comprender la asignatura.
2. Cómo considera la relación de actividades prácticas con relación a las clases teóricas.

3. Me ha sido útil para mi aprendizaje realizar ensayos con dispositivos reales en el laboratorio.
4. Me ha sido útil para mi aprendizaje realizar ensayos con dispositivos reales de forma remota desde la casa.
5. La combinación de actividades en el laboratorio con actividades remotas desde casa comprueba habilidades y conocimientos.
6. Cómo valora el funcionamiento del Sistema de Laboratorio a Distancia (SLD) como herramienta de acceso remoto a dispositivos físicos reales.
7. Las prácticas remotas desarrolladas a través del Sistema de Laboratorios a Distancia (SLD) las considera como:
8. Recomendaría a otros alumnos utilizar el Sistema de Laboratorios a Distancia (SLD) como herramienta complementaria para el aprendizaje de la asignatura.

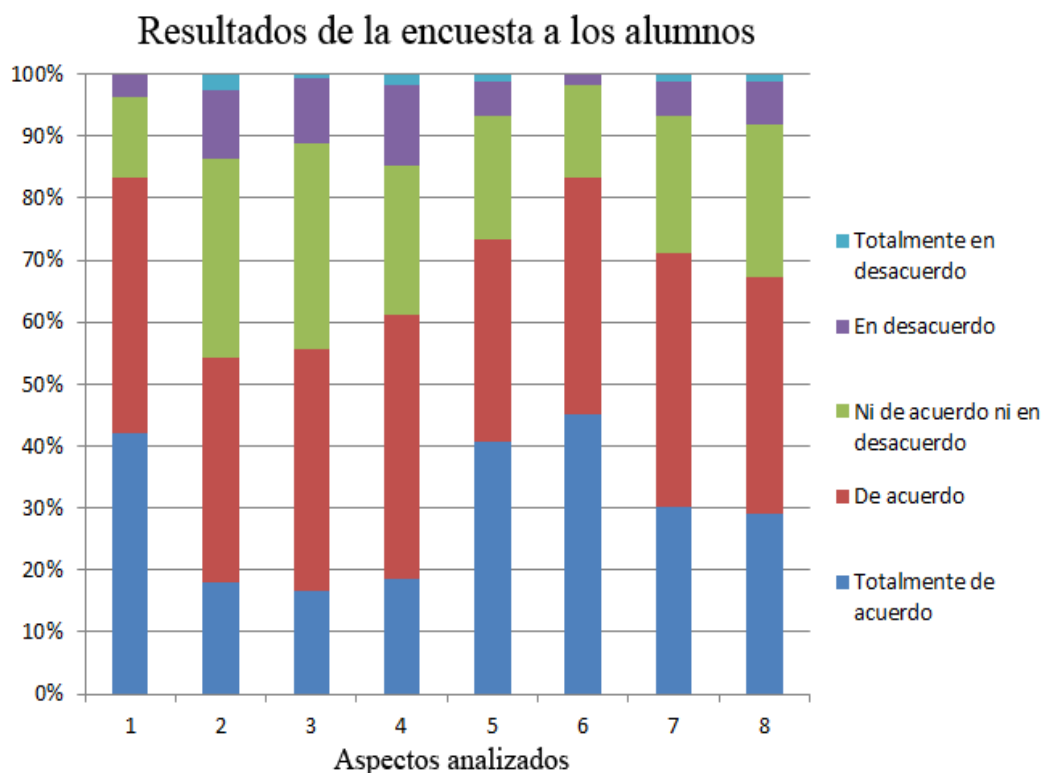


Figura 7.4 Resultados de la encuesta aplicada a los estudiantes en los cursos académicos 2009/2010 y 2010/2011. Se nota buenos resultados en la opinión de los alumnos.

7.2 Resumen de los resultados obtenidos por los alumnos en los cursos del 2008-2009 al 2010-2011

En los cursos 2008-2009, 2009-2010 y 2010-2011 se nota una estabilidad en las notas obtenidas por los alumnos. En la Tabla 7.5 se muestran las notas de las actividades propuestas en la asignatura Regulación Automática y la nota final de los cursos 2008-2009, 2009-2010 y 2010-2011.

Curso	Estadística	Notas de la asignatura Regulación Automática				
		Proyecto integrado	Problemas	Prácticas	Test final	Nota final
2008-2009	Promedio	7,13	0,69	0,78	4,82	6,12
	Mediana	7,80	0,76	0,85	4,85	6,34
	Desviación	2,18	0,30	0,21	1,56	2,04
2009-2010	Promedio	7,37	0,65	0,81	4,39	6,49
	Mediana	8,44	0,70	0,87	4,52	7,40
	Desviación	2,41	0,29	0,19	1,41	2,35
2010-2011	Promedio	7,71	0,66	0,70	4,42	6,37
	Mediana	8,55	0,74	0,80	4,50	6,67
	Desviación	2,36	0,29	0,24	1,41	1,80

Tabla 7.5 Notas obtenidas por los alumnos en Regulación Automática en los cursos 2008-2009 al 2010-2011. Se aprecian resultados muy semejantes en cada curso.

Del análisis de la tabla se puede concluir, como se ha planteado anteriormente, que las notas a través de los diferentes cursos son muy estables. Se destaca un ligero descenso en la nota del test final, sin embargo se aprecia un leve incremento en las actividades del semestre como el proyecto integrado, los problemas y las prácticas. Todo esto permite que la nota final de la asignatura se vea ligeramente mejorada.

El aporte de cada una de las actividades realizadas a la nota final se muestra en las Figuras 7.5, 7.6 y 7.7. Cada una de ellas representa los resultados de los cursos analizados.

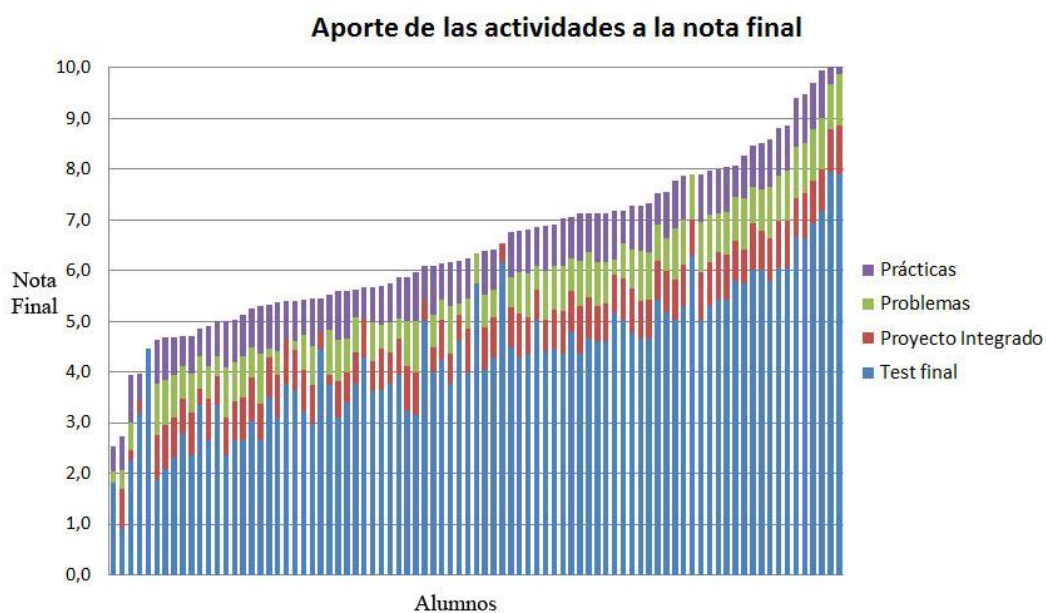


Figura 7.5 Aporte de las actividades del semestre a la nota final de la asignatura en el curso 2008-2009. Para este curso se obtiene un 85,9% de alumnos aprobados.

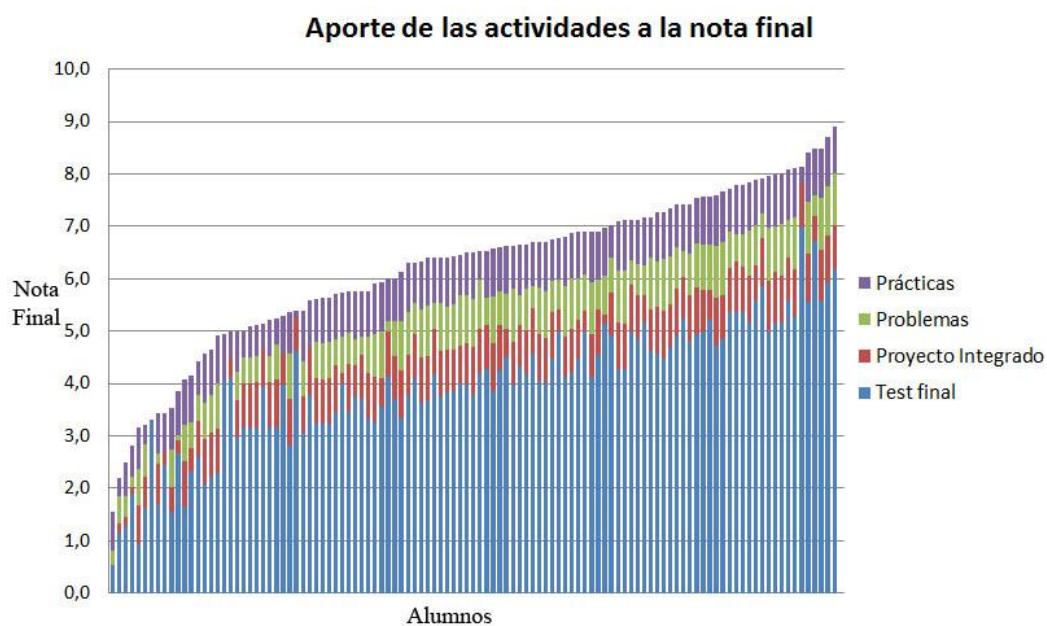


Figura 7.6 Aporte de las actividades del semestre a la nota final de la asignatura en el curso 2009-2010. El porcentaje de alumnos aprobados en este curso fue de 83,9%.

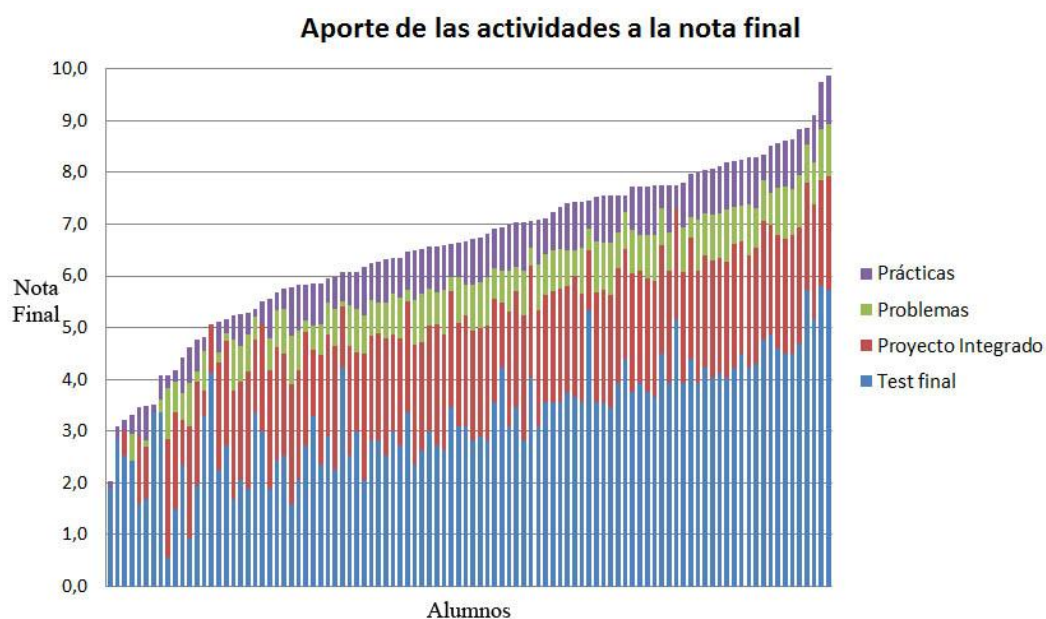


Figura 7.7 Aporte de las actividades del semestre a la nota final de la asignatura en el curso 2010-2011. En este curso se obtuvo un 86% de alumnos aprobados.

Del análisis de los datos presentados anteriormente se puede apreciar que, en el curso 2010-2011, la influencia del proyecto integrado en la nota final de la asignatura es mayor. En este curso se incrementó el peso del proyecto integrado del 10% al 25% de la nota final, quedando el 75% restante al test final (en los cursos anteriores este porcentaje fue del 90%). Además, al igual que en los cursos anteriores se suma a la nota un punto de problemas y un punto de prácticas.

La mayoría de los alumnos entiende que trabajar de manera continua durante el semestre les asegura aprobar la asignatura, ya que el peso de las diferentes actividades en la nota final permite un margen de equivocaciones en el test. Basta alcanzar un cuatro sobre diez en el examen para que con una buena calificación del resto de actividades se asegure el aprobado de la asignatura. La participación continua de los alumnos en las actividades del curso junto a un notable rendimiento de los mismos influye sustancialmente en la nota final de la asignatura. A pesar de todo esto se mantienen aproximadamente los mismos promedios en las notas de los cursos analizados.

CONCLUSIONES

Esta tesis constituye una **aportación al área de la innovación educativa en automática**. Se presentan **herramientas educativas de un alto valor formativo** que permiten la **adquisición de competencias en los alumnos** de las asignaturas de Regulación Automática.

La metodología **ECTS ha demostrado ser una buena herramienta para cuantificar correctamente el trabajo del alumno**. Sin embargo, varias actividades tienen que ser hechas durante el curso con el fin de distribuir el esfuerzo del estudiante.

La principal novedad de este trabajo ha sido la **combinación de las actividades presenciales y a distancia**. Esta metodología ha posibilitado que los alumnos conozcan el **funcionamiento de los equipos reales** durante las **sesiones presenciales** y **analicen diferentes esquemas de control** en las **sesiones a distancia** con muy buenos resultados.

Se ha demostrado a lo largo de esta investigación la **importancia de la realización de prácticas de laboratorio presenciales**, por lo que se concluye que **no deben ser eliminadas de la programación**. El alumno tiene que **interactuar con los equipos físicos y aprender a realizar las conexiones necesarias**. Se concluye igualmente que **el manejo de los equipos es aprendido por el alumno en una sesión de laboratorio**, por lo que en otras sesiones de trabajo el conexionado y la programación de los sistemas para el trabajo en tiempo real constituye una demora de tiempo.

Para la **adquisición de otras competencias** como el **ajuste y diseño de reguladores, la identificación de sistemas** y otras competencias afines a la automática **resulta mucho más productiva la utilización de los equipos reales de forma remota**. Los **laboratorios remotos** constituyen una **herramienta muy útil** para lograr la **adquisición de estas competencias con menos restricciones de tiempo y horarios**.

La **evaluación continua del alumno** en la asignatura Regulación Automática se asegura incorporando una **colección de ejercicios** que se les plantea **periódicamente** para que los **realicen en casa**. Además se incluyen **test de**

autoevaluación que se realizan **a través de AulaWeb**. Esto **permite ir preparando a los alumnos a través del curso** a la vez que asegura **contar con evaluación** de ellos. Los ejercicios realizados en casa son una actividad tradicionalmente propuesta en estas asignaturas mientras que los test de autoevaluación son una actividad nueva de gran utilidad para asignaturas con un gran número de alumnos.

Otra **actividad de evaluación de gran interés** para los alumnos de la asignatura Regulación Automática es la realización de un **proyecto de un sistema de control**. Este tipo de actividad ha permitido **afianzar los conceptos teóricos estudiados en la asignatura** con muy buenos resultados. Durante la realización del proyecto integrado **los alumnos aprenden a buscar un equilibrio entre la complejidad de un modelo y el grado de precisión** que se requiere, esto tiene un gran valor formativo para los especialistas en control.

A juicio del autor de esta tesis, **la evaluación continua favorece una mejor asimilación de los conceptos teóricos** por parte del alumno. No obstante la parte más importante del **éxito del aprendizaje recae sobre el alumno**, por lo que es importante que éste aproveche bien el tiempo desde la primera semana de clase. Es **importante que el profesor cree los incentivos** para que esto ocurra y motive al alumno **asegurando la calidad de la docencia** que imparte. En esta tesis **el incentivo mayor para un buen trabajo** a lo largo del curso lo constituye **la puntuación en la nota final** de cada una de las actividades desarrolladas. El **proyecto integrado** por su complejidad y carga del estudiante **puntúa un 25% en la nota final**. Los **problemas propuestos, autoevaluaciones** y las **prácticas de laboratorio**, tanto presenciales como remotas, **suman un punto** cada uno a la nota final de la asignatura.

Otro incentivo fundamental para un buen trabajo en el curso lo constituye que **trabajar de manera continua** durante el semestre **asegura a los alumnos aprobar la asignatura**, ya que el peso de las diferentes actividades en la nota final permite un margen de equivocaciones en el examen final. Basta alcanzar un **cuatro sobre diez en el test final** para que, con una **buena calificación del resto de actividades**, se **asegure el aprobado de la asignatura**. Los resultados obtenidos en las **notas finales de los alumnos en los cursos** en los que se realizó esta investigación fueron buenos y muy **semejantes en cuanto a puntuación media**.

Otra aportación de esta tesis es **la valoración por parte de los estudiantes de las técnicas utilizadas** mediante datos cualitativos y cuantitativos. A través de la observación participante, las encuestas y las entrevistas con los grupos de alumnos se lograron recoger los datos que permitieron evaluar los resultados.

Trabajos futuros

Esta investigación provee las bases fundamentales para ampliar el uso de la metodología propuesta en otras asignaturas de Regulación Automática. Las asignaturas de ingeniería de control en los nuevos planes de estudio basados en el Espacio Europeo de Educación Superior (EEES) pueden verse favorecidas con la aplicación de la metodología propuesta en esta tesis.

La incorporación de nuevas plantas físicas al Sistema de Laboratorios a Distancia posibilitaría ampliar su uso y extenderlo al postgrado con fines investigativos.

ANEXOS

Anexo 1 Análisis de tecnologías para el desarrollo de la interfaz de usuario

Característica	Tecnología						
Paradigma	Aplicaciones específicas						
	Java applets						
	HTML						
	AJAX						
	PHP						
	ASP/ASP.NET						
Acceso entre plataformas	Aplicaciones específicas						
	Java applets						
	HTML						
	AJAX						
	PHP						
	ASP/ASP.NET						
Compatibilidad con los navegadores web	Aplicaciones específicas						
	Java applets						
	HTML						
	AJAX						
	PHP						
	ASP/ASP.NET						
Instalación necesaria	Aplicaciones específicas						
	Java applets						
	HTML						
	AJAX						
	PHP						
	ASP/ASP.NET						
Audio y vídeo	Aplicaciones específicas						
	Java applets						
	HTML						
	AJAX						
	PHP						
	ASP/ASP.NET						
Flexibilidad	Aplicaciones específicas						
	Java applets						
	HTML						
	AJAX						
	PHP						
	ASP/ASP.NET						

Puntuación	Aplicaciones específicas	14				
	Java applets	17				
	HTML	21				
	AJAX	25				
	PHP	25				
	ASP/ASP.NET	16				

Anexo 2 Análisis de tecnologías para el desarrollo de la gestión de prácticas

Característica	Tecnología					
Acceso entre plataformas	Mecanismos propios de comunicación					
	MATLAB Web Server					
	LabVIEW Internet Tool-kit					
Herramientas de desarrollo	Mecanismos propios de comunicación					
	MATLAB Web Server					
	LabVIEW Internet Tool-kit					
Velocidad de desarrollo	Mecanismos propios de comunicación					
	MATLAB Web Server					
	LabVIEW Internet Tool-kit					
Robustez	Mecanismos propios de comunicación					
	MATLAB Web Server					
	LabVIEW Internet Tool-kit					
Flexibilidad	Mecanismos propios de comunicación					
	MATLAB Web Server					
	LabVIEW Internet Tool-kit					
Precio	Mecanismos propios de comunicación					
	MATLAB Web Server					
	LabVIEW Internet Tool-kit					
Puntuación	Mecanismos propios de comunicación	17				
	MATLAB Web Server	19				
	LabVIEW Internet Tool-kit	22				

Anexo 3 Análisis de tecnologías para el desarrollo del procesamiento de las prácticas

Característica	Tecnología					
Acceso entre plataformas	Mecanismos propios de procesamiento					
	MATLAB/Simulink					
	LabVIEW					
Herramientas de desarrollo	Mecanismos propios de procesamiento					
	MATLAB/Simulink					
	LabVIEW					
Velocidad de desarrollo	Mecanismos propios de procesamiento					
	MATLAB/Simulink					
	LabVIEW					
Robustez	Mecanismos propios de procesamiento					
	MATLAB/Simulink					
	LabVIEW					
Compatibilidad con el hardware	Mecanismos propios de procesamiento					
	MATLAB/Simulink					
	LabVIEW					
Precio	Mecanismos propios de procesamiento					
	MATLAB/Simulink					
	LabVIEW					
Puntuación	Mecanismos propios de procesamiento	14				
	MATLAB/Simulink	19				
	LabVIEW	21				

Anexo 4 Flujo de eventos para el caso de uso servicio de autenticación

¿Qué hace el actor?	¿Qué hace el sistema?
En caso de ser un usuario anónimo registrado, introduce su nombre de usuario y contraseña y oprime el botón Enviar.	Valida los datos en el servidor y si son correctos ingresa en su sesión de trabajo.
En caso de ser un usuario anónimo nuevo, hace clic en Registrarse, introduce sus datos en el formulario y oprime el botón Enviar.	Valida los datos en el servidor y si son correctos crea el perfil del usuario con los datos obtenidos, si no, muestra nuevamente el formulario.

Anexo 5 Flujo de eventos para el caso de uso servicio de prácticas

¿Qué hace el actor?	¿Qué hace el sistema?
Hace clic en la sección de prácticas.	Busca en la Base de Datos todas las prácticas disponibles en el sistema.
Hace clic en una de las prácticas (Paramétricas), introduce en los formularios los distintos datos de las prácticas y oprime el botón de ejecución según sea la práctica.	Recoge todos los datos de la práctica y los envía a la <i>Estación</i> donde se encuentra la <i>planta</i> , se validan los datos y si son correctos se realiza la práctica. Una vez terminada la ejecución se le envía la respuesta al actor.
Hace clic en una de las prácticas (Con cambio en el regulador), teniendo la posibilidad de descargar un fichero de Simulink de muestra oprimiendo el botón <i>Descargar</i> . Tras realizar todos los cambios pertinentes y subir el nuevo fichero de Simulink oprime el botón de ejecución según sea la práctica.	Recoge el nuevo fichero de Simulink con las modificaciones realizadas subido por el actor, lo envía a la <i>Estación</i> donde se encuentra la <i>Planta</i> . Si el fichero se subió correctamente y no hay errores se realiza la práctica. Una vez terminada la ejecución se le envía la respuesta al actor.

Anexo 6 Flujo de eventos para el caso de uso servicio de prácticas

¿Qué hace el actor?	¿Qué hace el sistema?
Desde la página de inicio, hacer clic en el enlace <i>Mis Prácticas</i> del menú de navegación.	Abre la página donde se muestra todas las prácticas realizadas por el actor.
Desde el listado de prácticas personales, hacer clic en el título de la práctica dada.	Abre la página de la práctica realizada anteriormente.
Desde el listado de prácticas personales, hacer clic en el icono borrar de una práctica dada.	Pide confirmación para eliminar la práctica, si se confirma la acción se borra esta del directorio <i>Mis Prácticas</i> .
Desde la página de la práctica realizada, hacer clic en el botón Revisar.	Añade la práctica seleccionada a las prácticas por revisar.
Desde la página de <i>Mis Prácticas</i> , hacer clic en el enlace <i>Prácticas revisadas</i> de la barra de navegación.	Abre la página donde se muestra todas las prácticas del estudiante actual revisadas por los administradores.
Desde la página de <i>Mis Prácticas</i> , hacer clic en el enlace <i>Prácticas por revisar</i> de la barra de navegación.	Abre la página donde se muestra todas las prácticas del estudiante actual que esperan ser revisadas por los administradores.

Anexo 7 Flujo de eventos para el caso de uso Administrar usuarios para el actor Administrador

¿Qué hace el actor?	¿Qué hace el sistema?
Desde la sección de administración hacer clic en el enlace <i>Usuarios</i> en la barra de <i>Navegación</i> .	Muestra una lista de los usuarios que tengan privilegios de administrador.
Desde Usuarios en la sección de administración, hacer clic en el enlace <i>Perfiles</i> en la barra de <i>Opciones</i> .	Muestra una lista de los usuarios que tengan privilegios de Estudiante.
Desde Usuarios en la sección de administración, hacer clic en el enlace <i>Nuevo Usuario</i> en la barra de <i>Opciones</i> .	Abre un formulario desde el cual se puede crear un nuevo usuario.
Desde el formulario de nuevo usuario, introduce los datos de usuario y hace clic en el botón <i>Guardar</i> .	Recibe y valida los datos, si son válidos los guarda en la Base de Datos, si no muestra un mensaje de error y regresa a la página de formulario.
Desde el listado de usuarios, hacer clic en el icono <i>Editar</i> de un usuario dado.	Abre un formulario desde el cual se puede editar el usuario.
Desde el formulario de edición, introduce los nuevos datos y hace clic en el botón <i>Guardar</i> .	Recibe y valida los datos, si son válidos los guarda en la Base de Datos, si no, muestra un mensaje de error y regresa a la página de formulario.
Desde el listado de usuarios, hacer clic en el icono <i>Eliminar</i> de un usuario dado.	Pide confirmación para eliminar el usuario, si se confirma la acción lo elimina del listado de usuario sin salir de la página.
Desde Usuarios en la sección de administración, hacer clic en el enlace <i>Grupos</i> en la barra de <i>Opciones</i> .	Muestra una lista de los grupos creados, y abre un formulario desde el cual se puede añadir nuevos grupos.
Desde el listado de grupos, hacer clic en el icono <i>Editar</i> de un grupo dado.	Abre un formulario desde el cual se puede editar el grupo.
Desde el formulario de edición, introduce los nuevos datos y hace clic en el botón <i>Guardar</i> .	Recibe y valida los datos, si son válidos los guarda en la Base de Datos, si no, muestra un mensaje de error y regresa a la página de formulario.
Desde el listado de grupos, hacer clic en el icono <i>Eliminar</i> un grupo dado.	Pide confirmación para eliminar el grupo, si se confirma la acción lo elimina del listado de grupos sin salir de la página.

Anexo 8 Flujo de eventos para el caso de uso Administrar configuración para el actor Administrador

¿Qué hace el actor?	¿Qué hace el sistema?
Desde <i>Configuración</i> en el servicio de administración, hace clic en el enlace <i>Servidores Externos</i> .	Muestra dos formularios, uno con los parámetros del servidor de base de datos <i>MySQL</i> y el otro con los parámetros del servidor <i>LDAP</i> .
Desde <i>Servidores Externos</i> , edita los datos de cualquiera de los formularios y presiona el botón <i>Guardar</i> .	Recibe y valida los datos, si son válidos, los guarda en el archivo de configuración, si no, devuelve un mensaje de error. Regresa a <i>Servidores Externos</i> .
Desde <i>Configuración</i> en el servicio de administración, hace clic en el enlace <i>Autenticación</i> .	Muestra un formulario con las opciones de edición de dominios y habilitación de autenticación.
Desde <i>Autenticación</i> , selecciona o no la(s) casillas de habilitación.	Habilita el tipo de autenticación correspondiente a la casilla que está seleccionada y se deshabilita en caso contrario.
Desde <i>Autenticación</i> , introduce un nuevo dominio en el cuadro de texto y presiona el botón <i>Guardar</i> .	Recibe y valida los datos, si son válidos, los guarda en el archivo de configuración, si no, devuelve un mensaje de error. Regresa a <i>Autenticación</i> .
Desde <i>Autenticación</i> , selecciona uno o varios dominios de la lista y presiona el botón <i>Guardar</i> .	Recibe y valida los datos, si son válidos, los guarda en el archivo de configuración, si no, devuelve un mensaje de error. Regresa a <i>Autenticación</i> .

Anexo 9 Flujo de eventos para el caso de uso Administrar base de datos para el actor Administrador

¿Qué hace el actor?	¿Qué hace el sistema?
Desde la sección de administración hacer clic en el enlace <i>Configurar Prácticas</i> en la barra de <i>Navegación</i> .	Muestra una lista de todas las prácticas disponibles en el sistema.
Desde el listado de prácticas, hacer clic en el icono <i>Editar</i> de una práctica dada.	Abre un formulario desde el cual se pueden editar las prácticas.
Desde el formulario de edición, introduce los nuevos datos y hace clic en el botón <i>Guardar</i> .	Recibe y valida los datos, los guarda en la Base de Datos, si no, muestra un mensaje de error y regresa a la página de formulario.
Desde el listado de prácticas, hacer clic en el icono <i>Eliminar</i> una práctica dada.	Pide confirmación para eliminar la práctica, si se confirma la acción la elimina del listado sin salir de la página.
Desde <i>Configurar Prácticas</i> en la sección de administración, hacer clic en el enlace <i>Subir Práctica</i> en la barra de <i>Opciones</i> .	Abre un formulario desde el cual se puede crear una nueva práctica y añadirla a la Base de Datos.
Desde el formulario de Subir Práctica, introduce los datos de las prácticas y hace clic en el botón <i>Guardar</i> .	Recibe, valida los datos y los guarda en la Base de Datos, si no, muestra un mensaje de error y regresa a la página de formulario.

Anexo 10 Flujo de eventos para el caso de uso Servicio de Reserva de laboratorio para el actor Administrador

¿Qué hace el actor?	¿Qué hace el sistema?
Desde la sección de administración hacer clic en el enlace <i>Reserva</i> en la barra de <i>Navegación</i> .	Muestra un calendario con los días de la semana y del mes, así como las reservas existentes por días.
Hacer clic en un día del mes.	Muestra la lista de reservas de ese día, así como brinda la posibilidad de eliminar y realizar nuevas reservas.
Hacer clic en <i>Nuevo</i> .	Guarda en la Base de Datos los datos introducidos de la reserva.
Hacer clic en <i>Eliminar</i> .	Pide confirmación para eliminar la reserva, si se confirma la acción la elimina del listado sin salir de la página.

Anexo 11 Resumen de la observación participante en las prácticas de laboratorio del curso 2008-2009

Aspectos	Número de práctica		
	1	2	3
Sistematización de los conocimientos en las prácticas de laboratorio	4	4	5
La motivación durante el desarrollo de cada práctica de laboratorio	5	5	5
La ejecución de las modalidades en las prácticas de laboratorio. (Prácticas con acceso remoto)	-	-	-
El desarrollo de las prácticas en relación con los sistemas de tiempo real.	5	5	5
La culminación en tiempo de cada práctica	4	5	4

La máxima ponderación es de 5 para un aspecto a observar y 1 para la mínima.
En cada caso las opciones se han ponderado en 5, 4, 3, 2 y 1

Anexo 12 Modelo de la encuesta aplicada en el curso 2008-2009

Evaluación de la asignatura Regulación Automática I. Curso 2008-2009

Por favor, dedique cinco minutos a completar esta pequeña encuesta.

Datos de la asignatura:

Asignatura: _____ Especialidad: _____

Dedicación a la asignatura

Porcentaje de clases de teoría a las que he asistido ____

De los 6 trabajos prácticos de las aulas F5 y F6 he realizado ____

De los trabajos prácticos del laboratorio he realizado ____

He estudiado ____ horas semanales de media para preparar esta asignatura
(incluye el proyecto)

He trabajado un total de ____ horas para realizar el proyecto integrado de la
asignatura

Estimo que estudiaré ____ horas próximamente para preparar el examen de la
asignatura

Indique su nivel de acuerdo/desacuerdo con las siguientes afirmaciones en una
escala 1-5.

Completamente de acuerdo 5 4 3 2 1 completamente desacuerdo

Trabajos prácticos

Los trabajos prácticos son todos de interés para comprender la asignatura ____

El número de trabajos prácticos y clases teóricas está equilibrado ____

El proyecto integrado me ha servido para entender mejor la asignatura ____

El tiempo para la realización del proyecto integrado fue suficiente ____

Me fue fácil usar el Sistema de Laboratorios a Distancia (SLD) en el proyecto
integrado ____

Muchas gracias por su colaboración.

Anexo 13 Resultados de la encuesta aplicada en el curso 2008-2009

Preguntas	Promedio	Mediana	Desviación
Porcentaje de clases de teoría a las que he asistido ____	91,29	96	14,82
De los 6 trabajos prácticos de las aulas F5 y F6 he realizado ____	5,81	6	0,49
De los trabajos prácticos del laboratorio he realizado ____	2,60	3	0,77
He estudiado ____ horas semanales de media para preparar esta asignatura (incluye el proyecto)	5,98	5	3,24
He trabajado un total de ____ horas para realizar el proyecto integrado de la asignatura	30,21	25	20,27
Estimo que estudiaré ____ horas próximamente para preparar el examen de la asignatura	29,22	20	18,77
Los trabajos prácticos son todos de interés para comprender la asignatura	3,94	4	0,85
El número de trabajos prácticos y clases teóricas está equilibrado	3,29	4	1,32
El proyecto integrado me ha servido para entender mejor la asignatura	3,46	4	1,26
El tiempo para la realización del proyecto integrado fue suficiente	2,23	2	1,17
Me fue fácil usar el Sistema de Laboratorios a Distancia (SLD) en el proyecto integrado	3,19	3	1,22

Anexo 14 Resumen de la observación participante en las prácticas de laboratorio del curso 2009-2010

Aspectos	Número de práctica		
	1	2	3
Sistematización de los conocimientos en las prácticas de laboratorio	4	4	5
La motivación durante el desarrollo de cada práctica de laboratorio	5	5	5
La ejecución de las modalidades en las prácticas de laboratorio. (Prácticas con acceso remoto)	4	5	5
El desarrollo de las prácticas en relación con los sistemas de tiempo real.	5	5	5
La culminación en tiempo de cada práctica	4	5	5

La máxima ponderación es de 5 para un aspecto a observar y 1 para la mínima.
En cada caso las opciones se han ponderado en 5, 4, 3, 2 y 1

Anexo 15 Modelo de la encuesta aplicada en el curso 2009-2010

Evaluación de la asignatura Regulación Automática I. Curso 2009-2010

Ayúdenos a mejorar.

Por favor, dedique unos minutos a completar honestamente esta encuesta.

Sus respuestas serán confidenciales y servirán únicamente para mejorar la calidad de las prácticas que ha realizado.

Datos de la asignatura:

Asignatura: _____ Especialidad: _____

Indique su nivel de acuerdo/desacuerdo con los siguientes aspectos en una escala de 1 -5.

completamente de acuerdo 5 4 3 2 1 completamente desacuerdo

Caracterización

Me gusta realizar prácticas con dispositivos reales ____

Conocía antes de utilizar el SLD el término de laboratorio virtual/remoto ____

He accedido con anterioridad a sistemas semejantes a este ____

Prácticas reales en el laboratorio

Las prácticas reales en el laboratorio fueron muy importantes para mi formación ____

La cantidad de prácticas reales en el laboratorio fue adecuada ____

Pude realizar ensayos adicionales a los guiones con los dispositivos reales ____

El horario de las prácticas reales en el laboratorio me fue cómodo ____

Uso del SLD

Es fácil utilizar el SLD ____

El ambiente del sistema es agradable ____

Puedo acceder al SLD fácilmente desde cualquier ordenador ____

La velocidad de respuesta del sistema es buena ____

El SLD me ha sido de utilidad para mi aprendizaje ____

Recomendaría este sistema a otros estudiantes ____

Muchas gracias por su colaboración.

Anexo 16 Resultados de la encuesta aplicada en el curso 2009-2010

Preguntas	Promedio	Mediana	Desviación
Me gusta realizar prácticas con dispositivos reales	4,20	4	0,91
Conocía antes de utilizar el SLD el término de laboratorio virtual/remoto	1,88	1	1,30
He accedido con anterioridad a sistemas semejantes a este	1,30	1	0,90
Las prácticas reales en el laboratorio fueron muy importantes para mi formación	3,42	3	0,84
La cantidad de prácticas reales en el laboratorio fue adecuada	3,28	3	1,07
Pude realizar ensayos adicionales a los guiones con los dispositivos reales	3,08	3	1,42
El horario de las prácticas reales en el laboratorio me fue cómodo	3,56	4	1,27
Es fácil utilizar el SLD	4,17	4	0,97
El ambiente del sistema es agradable	4,10	4	0,88
Puedo acceder al SLD fácilmente desde cualquier ordenador	4,33	5	0,94
La velocidad de respuesta del sistema es buena	4,36	4	0,71
El SLD me ha sido de utilidad para mi aprendizaje	3,65	4	0,94
Recomendaría este sistema a otros estudiantes	4,02	4	1,00

Anexo 17 Resumen de la observación participante en las prácticas de laboratorio del curso 2010-2011

Aspectos	Número de práctica		
	1	2	3
Sistematización de los conocimientos en las prácticas de laboratorio	4	5	5
La motivación durante el desarrollo de cada práctica de laboratorio	5	5	-
La ejecución de las modalidades en las prácticas de laboratorio. (Prácticas con acceso remoto)	4	5	5
El desarrollo de las prácticas en relación con los sistemas de tiempo real.	5	5	-
La culminación en tiempo de cada práctica	5	5	-

La máxima ponderación es de 5 para un aspecto a observar y 1 para la mínima.
En cada caso las opciones se han ponderado en 5, 4, 3, 2 y 1

Anexo 18 Modelo de la encuesta aplicada en el curso 2010-2011

Evaluación de la asignatura Regulación Automática I. Curso 2010-2011

Estimado alumno:

Se desea realizar un estudio sobre el proceso de enseñanza aprendizaje en las asignaturas Regulación Automática I, Control por Computador y Control de Sistemas Continuos y Discretos para lo cual solicitamos su colaboración en el relleno de la presente encuesta. Por favor, marque con una cruz en cada pregunta, aquella opción de respuesta que Ud. considere la más cercana a la realidad.

Sus respuestas serán confidenciales y servirán únicamente para mejorar la calidad de las asignaturas.

Datos de la asignatura:

Asignatura: _____ Especialidad: _____

1. En qué medida Ud. considera que los trabajos prácticos son de interés para comprender la asignatura.

____ Mucho ____ Bastante ____ Algo ____ Poco ____ Nada

2. Cómo considera la relación de actividades prácticas con relación a las clases teóricas.

____ Muy buena ____ Buena ____ Regular ____ Pobre ____ Muy pobre

3. Cómo evalúa su preparación inicial para enfrentar las actividades prácticas luego de realizar los ejercicios de autoevaluación en AulaWeb.

____ Muy buena ____ Buena ____ Regular ____ Pobre ____ Muy pobre

4. Me ha sido útil para mi aprendizaje realizar ensayos con dispositivos reales en el laboratorio.

____ Mucho ____ Bastante ____ Algo ____ Poco ____ Nada

5. Me ha sido útil para mi aprendizaje realizar ensayos con dispositivos reales de forma remota desde la casa.

____ Mucho ____ Bastante ____ Algo ____ Poco ____ Nada

6. La combinación de actividades en el laboratorio con actividades remotas desde casa comprueba habilidades y conocimientos.

____ En gran medida ____ Suficiente ____ Adecuado ____ Insuficiente ____ Poco

7. En qué medida el proyecto integrado le ha servido para entender mejor la asignatura.

☐ Mucho ☐ Bastante ☐ Algo ☐ Poco ☐ Nada

8. Cómo valora el funcionamiento del Sistema de Laboratorio a Distancia (SLD) como herramienta de acceso remoto a dispositivos físicos reales.

☐ Muy bueno ☐ Bueno ☐ Aceptable ☐ Pobre ☐ Malo

9. Las prácticas remotas desarrolladas a través del Sistema de Laboratorios a Distancia (SLD) las considera como:

☐ Muy buenas ☐ Buenas ☐ Aceptables ☐ Pobres ☐ Malas

10. Recomendaría a otros alumnos utilizar el Sistema de Laboratorios a Distancia (SLD) como herramienta complementaria para el aprendizaje de la asignatura.

☐ Mucho ☐ Bastante ☐ Algo ☐ Poco ☐ Nada

11. En relación con los laboratorios remotos se considera Ud. motivado por los mismos.

☐ Altamente ☐ Muy motivado ☐ Aceptablemente ☐ Poco ☐ Nada

12. Cómo evalúa su dedicación al desarrollo del proyecto integrado.

☐ Muy elevada ☐ Elevada ☐ Aceptable ☐ Poca ☐ Nada

13. Cómo valora su dedicación a la asignatura de forma general.

☐ Muy elevada ☐ Elevada ☐ Aceptable ☐ Poca ☐ Nada

14. Cómo considera su preparación para enfrentar el examen final de la asignatura.

☐ Suficiente ☐ Adecuado ☐ Regular ☐ Insuficiente ☐ No estoy preparado

Muchas gracias por su colaboración.

Anexo 19 Resultados de la encuesta aplicada en el curso 2010-2011

Preguntas	Promedio	Mediana	Desviación
En qué medida Ud. considera que los trabajos prácticos son de interés para comprender la asignatura.	4,23	4	0,68
Cómo considera la relación de actividades prácticas con relación a las clases teóricas.	3,90	4	0,77
Cómo evalúa su preparación inicial para enfrentar las actividades prácticas luego de realizar los ejercicios de autoevaluación en AulaWeb.	3,32	3	0,72
Me ha sido útil para mi aprendizaje realizar ensayos con dispositivos reales en el laboratorio.	3,84	4	0,94
Me ha sido útil para mi aprendizaje realizar ensayos con dispositivos reales de forma remota desde la casa.	3,60	4	1,05
La combinación de actividades en el laboratorio con actividades remotas desde casa comprueba habilidades y conocimientos.	3,74	4	0,91
En qué medida el proyecto integrado le ha servido para entender mejor la asignatura.	3,86	4	0,89
Cómo valora el funcionamiento del Sistema de Laboratorio a Distancia (SLD) como herramienta de acceso remoto a dispositivos físicos reales.	4,15	4	0,84
Las prácticas remotas desarrolladas a través del Sistema de Laboratorios a Distancia (SLD) las considera como:	3,64	4	0,79
Recomendaría a otros alumnos utilizar el Sistema de Laboratorios a Distancia (SLD) como herramienta complementaria para el aprendizaje de la asignatura.	3,68	4	0,86
En relación con los laboratorios remotos se considera Ud. motivado por los mismos.	3,15	3	0,79
Cómo evalúa su dedicación al desarrollo del proyecto integrado.	4,25	4	0,83
Cómo valora su dedicación a la asignatura de forma general.	3,70	4	0,79
Cómo considera su preparación para enfrentar el examen final de la asignatura.	3,40	3	0,74

PUBLICACIONES

1. **I. Santana**, M. Ferre, E. Izaguirre, R. Aracil, y L. Hernandez, "Remote laboratories for education and research purposes in automatic control systems," Industrial Informatics, IEEE Transactions on, 2012 (En publicación, disponible en IEEEExplore) (F.I. JCR: 1.627).
2. **I. Santana**, M. Ferre, E. Pinto, y J. Cogollor, "Analysis of a thermal system through remote laboratories", en IEEE Engineering Education 2012 - Collaborative Learning & New Pedagogic Approaches in Engineering Education, Marrakesh, Morocco, 17 – 20 Abril, 2012. (Será indexado en IEEEExplore).
3. **I. Santana**, M. Ferre, L. Hernández, R. Aracil, y E. Pinto, "Experiencias del uso de laboratorios remotos en la enseñanza de la automática," Revista Electrónica de ADA (Relada), vol. 5, pp. 320-329, 2011.
4. **I. Santana**, L. Hernández, M. Ferre, R. Aracil, E. Pinto, y Á. García, "Distance Practices in Subjects of Automatic Control," en IEEE Engineering Education 2010 – The Future of Global Learning in Engineering Education (EDUCON), Madrid, 2010, pp. 967 – 972 (Indexado en IEEEExplore).
5. **I. Santana**, M. Ferre, L. Hernández, R. Aracil, Y. Rodríguez, y E. Pinto, "Aplicación del Sistema de Laboratorios a Distancia en Asignaturas de Regulación Automática.," Revista Iberoamericana de Informática Industrial (RIAI), vol. 7, pp. 46-53, 2010 (F.I. JCR: 0.195).
6. **I. Santana**, L. Hernández, M. Ferre, R. Aracil, y G. Eisendrath, "Design of servo system in state space using Distance Laboratory System (DLS)," in International Conference on Computer Supported Education (CSEDU 2009), Lisboa, Portugal, 2009 (Indexado en WOS).
7. A. R. Sartorius Castellanos, L. Hernandez Santana, E. Rubio, **I. Santana**, y R. Aracil Santonja, "Virtual and remote laboratory for robot manipulator control study," International Journal of Engineering Education, vol. 22, pp. 702-710, 2006 (F.I. JCR: 0.355).
8. A. Sartorius, L. Hernández, R. Aracil, E. Rubio, y **I. Santana**, "Platform for distance development of complex automatic control strategies using Matlab," The International Journal of Engineering Education (IJEE) Special issue on Matlab and Simulink in Engineering Education, vol. 21, pp. 790-797, 2005 (F.I. JCR: 0.304).

BIBLIOGRAFÍA

- [1] M. Abdulwahed y Z. K. Nagy, "The TriLab, a novel ICT based triple access mode laboratory education model," *Computers & Education*, vol. 56, pp. 262-274, 2011.
- [2] ABET, "Criteria for Accrediting Engineering Programs. Effective for Reviews During the 2012-2013 Accreditation Cycle," Accreditation Board for Engineering and Technology, Baltimore 2011.
- [3] N. Aliane, "Experiencia de Uso de un Laboratorio Remoto de Control," *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial (RIAI)*, vol. 7, pp. 85-90, 2010.
- [4] N. Aliane, "A Matlab/Simulink-Based Interactive Module for Servo Systems Learning," *Education, IEEE Transactions on*, vol. 53, pp. 265-271, 2010.
- [5] N. Aliane, "Spreadsheet-based interactive modules for control education," *Computer Applications in Engineering Education*, vol. 18, pp. 166-174, 2010.
- [6] M. B. Álvarez Álvarez, "Adaptación del método docente al Espacio Europeo de Educación Superior: La motivación de los alumnos como instrumento clave.," *Estudios sobre Educación*, vol. 9, pp. 107-126, 2005.
- [7] ANECA, "Título de grado Ingeniero en Electrónica y Automática," en *Titulaciones de Grado en el ámbito de la Ingeniería Industrial*, ed, 2006.
- [8] P. Antsaklis, T. Basar, R. DeCarlo, N. H. McClamroch, M. Spong, y S. Yurkovich, "Report on the NSF/CSS Workshop on new directions in control engineering education," *IEEE Control Systems*, vol. 19, pp. 53-58, 1999.
- [9] F. Anwar, E. Lindsay, y R. Sarukkalige, "Key factors for determining the suitability of converting a fluid-mechanics laboratory to remote-access mode," *Australasian Journal of Engineering Education*, vol. 17, pp. 11-18, 2011.
- [10] J. M. Arana, Mayor, M.A., Zubiauz, B., Palenzuela, D. L., "The adaptation of three subjects from the first year of psychology studies of the University of Salamanca (Spain) for teaching within the framework of the European Credit Transfer System (ECTS)," *European Psychologist*, vol. 10, pp. 160-164, 2005.
- [11] O. Ardaiz-Villanueva, X. Nicuesa-Chacón, O. Brene-Artazcoz, M. L. S. d. A. Lizarraga, y M. T. S. d. A. Baquedano, "Evaluation of computer tools for idea generation and team formation in project-based learning," *Computers & Education*, vol. 56, pp. 700-711, 2011.
- [12] K. J. Astrom, "Challenges in control education," en *7th IFAC Symposium on Advances in Control Education- ACE'06*, Madrid, 2006, pp. 9-29.
- [13] Z. Aydogmus y O. Aydogmus, "A Web-Based Remote Access Laboratory Using SCADA," *Education, IEEE Transactions on*, vol. 52, pp. 126-132, 2009.
- [14] S. M. Aziz, E. Sicard, y S. Ben Dhia, "Effective Teaching of the Physical Design of Integrated Circuits Using Educational Tools," *Education, IEEE Transactions on*, vol. 53, pp. 517-531, 2010.

- [15] A. Bagnasco, A. Boccardo, P. Buschiazzi, A. Poggi, y A. M. Scapolla, "A Service-Oriented Educational Laboratory for Electronics," *Industrial Electronics, IEEE Transactions on*, vol. 56, pp. 4768-4775, 2009.
- [16] A. Balestrino, A. Caiti, y E. Crisostomi, "From Remote Experiments to Web-Based Learning Objects: An Advanced Tel laboratory for Robotics and Control Systems," *Industrial Electronics, IEEE Transactions on*, vol. 56, pp. 4817-4825, 2009.
- [17] R. Ballesteros, "Estrategia didáctica para la selección y ejecución de las prácticas de laboratorio sobre sistemas supervisores en la carrera de Ingeniería en Automática," Tesis doctoral, Departamento de Automática y Sistemas Computacionales, Universidad Central Marta Abreu de Las Villas, Santa Clara, 2003.
- [18] B. Barros, T. Read, y M. F. Verdejo, "Virtual Collaborative Experimentation: An Approach Combining Remote and Local Labs," *Education, IEEE Transactions on*, vol. 51, pp. 242-250, 2008.
- [19] P. Bauer, V. Fedak, y O. Rompelman, "PEMCWebLab - Distance and virtual laboratories in electrical engineering: Development and trends," en *Power Electronics and Motion Control Conference, 2008. EPE-PEMC 2008. 13th*, 2008, pp. 2354-2359.
- [20] R. Bellman, *Mathematical theory of control process* vol. II. New York: Elsevier, 1971.
- [21] E. P. Bermúdez y F. M. Espada, *Fundamentos de control con MatLab*: Pearson Educación, 2010.
- [22] J. L. Bernal, *Diseño curricular en la enseñanza universitaria desde la perspectiva de los ECTS*, 2da ed. Zaragoza, 2008.
- [23] P. Bistak, "Matlab and Java based virtual and remote laboratories for control engineering," en *Control and Automation, 2009. MED '09. 17th Mediterranean Conference on*, 2009, pp. 1439-1444.
- [24] P. Bisták, "Matlab and Java Based Virtual and Remote Laboratories for Control Engineering," en *17th Mediterranean Conference on Control & Automation*, Makedonia Palace, Thessaloniki, Greece, 2009, pp. 1439-1444.
- [25] C. Bonivento, L. Gentili, y L. Rappini, "A Web Based Laboratory for Control Engineering Education. In: Second International Workshop on Teleeducation in Engineering Using Virtual Laboratories," 2002.
- [26] G. Booch, R. A. Maksimchuk, y M. W. Engle, *Object-oriented analysis and design with applications*, 3ra ed. Boston, 2007.
- [27] D. J. Bound, *Enhancing Learning through Self-assessment*, 1995.
- [28] D. J. Brinke, J. V. Bruggen, H. Hermans, J. Burgers, B. Giesbers, R. Koper, y I. Latour, "Modeling assessment for re-use of traditional and new types of assessment," *Computers in Human Behavior*, vol. 23, pp. 2721-2741, 2007.
- [29] J. C. Burgos y E. Olias, "Un año de experiencia en la impartición de los estudios de grado en electrónica industrial," en *IX Congreso de Tecnologías Aplicadas a la Enseñanza de la Electrónica (TAEE)*, Madrid, 2010.

- [30] I. Calvo, J. M. López-Guede, y E. Zulueta, "Aplicando la metodología Project Based Learning en la docencia de Ingeniería Técnica en Informática de Gestión," *Revista de Formación e Innovación Educativa Universitaria*, vol. 3, pp. 166-181, 2010.
- [31] I. Calvo, M. Marcos, D. Orive, y I. Sarachaga, "Building complex remote learning laboratories," *Computer Applications in Engineering Education*, vol. 18, pp. 53-66, 2010.
- [32] M. Callaghan, J. Harkin, T. McGinnity, y L. Maguire, "Intelligent User Support in Autonomous Remote Experimentation Environments," *Industrial Electronics, IEEE Transactions on*, vol. 55, pp. 2355-2367, 2008.
- [33] M. J. Callaghan, J. Harkin, T. M. McGinnity, y L. P. Maguire, "Paradigms in Remote Experimentation," *International Journal of Online Engineering (iJOE)*, vol. 3, 2007.
- [34] F. A. Candelas y J. Sánchez, "Recursos Didácticos Basados en Internet para el Apoyo a la Enseñanza de Materias del Área de Ingeniería de Sistemas y Automática," *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial (RIAI)*, vol. 2, pp. 93-101, 2005.
- [35] F. A. Candelas y F. Torres, "CI@aseWeb: Herramienta para la Docencia Remota Interactiva," en *XXVII Jornadas de Automática*, Almería, 2006.
- [36] F. A. Candelas, F. Torres, P. Gil, F. Ortiz, S. Puente, y J. Pomares, "Laboratorio Virtual Remoto para robótica y evaluación de su impacto en la docencia," *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial (RIAI)*, vol. 1, pp. 49-57, 2004.
- [37] M. Casini, F. Chinello, D. Prattichizzo, y A. Vicino, "RACT: a Remote Lab for Robotics Experiments," en *17th World Congress The International Federation of Automatic Control (IFAC)*, Seoul, Korea, 2008.
- [38] M. Casini, D. Prattichizzo, y A. Vicino, "The automatic control telelab: a user-friendly interface for distance learning," *Education, IEEE Transactions on*, vol. 46, pp. 252 - 257, 2003.
- [39] M. Casini, D. Prattichizzo, y A. Vicino, "The automatic control telelab: A web-based technology for distance learning," *IEEE Control Syst. Mag.*, vol. 24, pp. 36-44, 2004.
- [40] C. Castejón, D. Blanco, y L. Moreno, "Friendly interface to learn stereovision theory," *Computer Applications in Engineering Education*, vol. 17, pp. 180-186, 2009.
- [41] CEA-ISA, "Competencias de Automática. Recomendaciones generales para impartir las competencias de Automática en los títulos de grado.," 2011.
- [42] R. Cedazo, D. Lopez, F. M. Sanchez, y J. M. Sebastian, "Ciclope: FOSS for Developing and Managing Educational Web Laboratories," *Education, IEEE Transactions on*, vol. 50, pp. 352-359, 2007.
- [43] N. Clark, P. Davies, y R. Skeers, "Self and peer assessment in software engineering projects," en *7th Australasian Conference on Computing Education*, Newcastle, New South Wales, Australia, 2005.

- [44] F. Coito, P. Almeida, y L. B. Palma, "SMCRVI - a Labview/Matlab based tool for remote monitoring and control," en *Emerging Technologies and Factory Automation, 2005. ETFA 2005. 10th IEEE Conference on*, 2005, pp. 6 pp.-1084.
- [45] J. Conallen, *Building Web applications with UML*, 2da ed. Boston: Addison-Wesley Professional, 2003.
- [46] T. D. Cook y C. S. Reichardt, *Métodos cualitativos y cuantitativos en investigación evaluativa*, 5ta ed., 2005.
- [47] M. Cooper, "Remote laboratories in teaching and learning – issues impinging on widespread adoption in science and engineering education," *International Journal of Online Engineering (iJOE)*, vol. 1, 2005.
- [48] R. Costa-Castello, M. Vallés, L. M. Jiménez, L. Díaz-Guerra, A. Valera, y R. Puerto, "Integración de dispositivos físicos en un laboratorio remoto de control mediante diferentes plataformas: Labview, Matlab y C/C++," *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial (RIAI)*, vol. 7, pp. 23-34, 2010.
- [49] L.-C. Chang y G. C. Lee, "A team-teaching model for practicing project-based learning in high school: Collaboration between computer and subject teachers," *Computers & Education*, vol. 55, pp. 961-969, 2010.
- [50] J. De Pablos, "The methodologic change in the european higher education area and the role played by the information and communication technologies," *RIED*, vol. 10, pp. 15-44, 2007.
- [51] K. DeLong, V. J. Harward, P. Bailey, J. Hardison, G. Kohse, y Y. Ostrotsky, "Three online neutron beam experiments based on the iLab Shared Architecture," en *IEEE Education Engineering (EDUCON)*, Madrid, 2010, pp. 145 - 150.
- [52] C. Domínguez y A. Jaime, "Database design learning: A project-based approach organized through a course management system," *Computers & Education*, vol. 55, pp. 1312-1320, 2010.
- [53] M. Domínguez, P. Reguera, y J. Fuentes, "Laboratorio Remoto para la enseñanza de la Automática en la Universidad de Leon," *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, vol. 2(2), pp. 36-45, 2005.
- [54] P. Dorato y C. T. Abdallah, "A survey of engineering education outside the United States: Implications for the ideal engineering program," *Journal of Engineering Education*, vol. 82, pp. 212-215, 1993.
- [55] P. Dorato y C. T. Abdallah, "Advances in undergraduate control education: the analytical design approach," en *American Control Conference*, San Diego, CA , USA, 1999, pp. 470 - 474.
- [56] R. Dormido, H. Vargas, N. Duro, J. Sanchez, S. Dormido-Canto, G. Farias, F. Esquembre, y S. Dormido, "Development of a Web-Based Control Laboratory for Automation Technicians: The Three-Tank System," *Education, IEEE Transactions on*, vol. 51, pp. 35-44, 2008.
- [57] S. Dormido, "Control Learning: Present and Future," *Annual Reviews in Control*, vol. 28, pp. 115-136, 2004.
- [58] S. Dormido. (2008) Compartiendo recursos de experimentación a través de internet : la experiencia Automatl@bs. *Revista 100cias@uned*. 227-237.

- [59] S. Dormido y F. Torres, "Aplicación de las TIC's a la Educación en Automática.," *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial (RIAI)*, vol. 2, 2005.
- [60] A. Duran, Y. B. Moon, y E. Giraldo, "Work in Progress - The European Higher Education Area ("Bologna process") in Engineering Education in Spain," en *39th ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference*, San Antonio, 2009, pp. T4C-1-T4C-2.
- [61] J. Elliot, *La investigación-acción en educación*, 4ta ed., 2000.
- [62] J. Elliott, *El cambio educativo desde la investigación-acción*, 3ra ed., 2000.
- [63] M. Enqvist, S. Gunnarsson, M. Norrlof, E. Wernholt, y A. Hansson, "The CDIO initiative from an automatic control project course perspective," en *Proceedings of the 16th IFAC World Congress*, República Checa, 2005.
- [64] T. Ercan, F. Karaagaç, y A. E. Emekli, "A desktop application to learn the actual workload of the students," *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol. 1, pp. 136-140, 2009.
- [65] B. Erder y A. Akar, "Remote accessible laboratory for error controlled coding techniques with the labview software," *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol. 2, pp. 372-377, 2010.
- [66] Eurydice, "La modernización de la educación superior en Europa 2011: financiación y dimensión social," 2011.
- [67] E. Fabregas, N. Duro, R. Dormido, S. Dormido-Canto, H. Vargas, y S. Dormido, "Virtual and remote experimentation with the Ball and Hoop system," en *Emerging Technologies & Factory Automation, 2009. ETFA 2009. IEEE Conference on*, 2009, pp. 1-8.
- [68] E. Fabregas, G. Farias, S. Dormido-Canto, S. Dormido, y F. Esquembre, "Developing a remote laboratory for engineering education," *Computers & Education*, vol. 57, pp. 1686-1697, 2011.
- [69] N. Falchikov, *Improving assessment through student involvement: practical solutions for aiding learning in higher and further education*, 1 edition ed. London: Routledge, 2005.
- [70] G. Farias, R. De Keyser, S. Dormido, y F. Esquembre, "Developing Networked Control Labs: A Matlab and Easy Java Simulations Approach," *Industrial Electronics, IEEE Transactions on*, vol. 57, pp. 3266-3275, 2010.
- [71] D. Fensel, F. M. Facca, E. Simperl, y I. Toma, "Semantic Web Services," ed: Springer Berlin Heidelberg, 2011, pp. 87-104.
- [72] J. H. Fernández y P. M. Clares. (1996, 12 diciembre 2011) Propuesta metodológica para evaluar programas de orientación educativa. *Revista ELectrónica de Investigación y EValuación Educativa (RELIEVE)*. Disponible: http://www.uv.es/RELIEVE/v2n2/RELIEVEv2n2_1.htm
- [73] M. Ferre, R. Aracil, J. M. Sebastián, E. Pinto, y J. Llorente, "Nueva metodología docente de las asignaturas de Regulación Automática I y Control por Computador," en *I Jornadas de Innovación Educativa de la Escuela Politécnica Superior de Zamora*, Zamora, 2006, pp. 183-186.

- [74] R. C. Figueiredo, A. M. O. Ribeiro, R. Arthur, y E. Conforti, "Remote instrumentation control and monitoring based on LabVIEW and SMS," en *Industrial Electronics, 2009. IECON '09. 35th Annual Conference of IEEE*, 2009, pp. 2477-2481.
- [75] A. García-Beltrán, R. Martínez, J. A. Jaén, S. Tapia, y J. M. Arranz, "Experiencias de Evaluación Continua en Asignaturas de Informática Orientadas al EEES," en *Actas de las VI Jornadas Internacionales de Innovación Universitaria*, Universidad Europea de Madrid, 2009, pp. 122-128.
- [76] A. García-Beltrán y R. Martínez., "Web assisted assessment in computer programming learning using AulaWeb," *International Journal of Engineering Education*, vol. 22, pp. 1063-1069, 2006.
- [77] A. García-Beltrán, J. L. Ocaña, C. Molpeceres, M. Morales, J. M. González, M. Blasco, y D. Iordachescu, "A Virtual Laboratory for Laser Transformation Hardening," *International Journal of Engineering Education*, vol. 27, pp. 1-9, 2011.
- [78] A. García-Beltrán, S. Tapia, R. Martínez, y M. González., "Automatic assessment of multi-language programming questions using AulaWeb," *WSEAS Transactions on Computers*, vol. 6, pp. 449-454, 2007.
- [79] A. García-Beltrán, S. Tapia, R. Martínez, y J. A. Jaén, "Simulator for a Multi-Programming Environment for Computer Science Learning and Teaching," *International Journal of Engineering Education*, vol. 25, pp. 221-227, 2009.
- [80] M. J. Garcia-Garcia, C. Gonzalez, y R. Argüelles, "Methodological changes in technical teaching in order to the European higher education area comparison between countries: Italy and Spain," *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol. 1, pp. 2701-2706, 2009.
- [81] P. García-Robledo, P. García-Borrás, y R. Galán, "Cybertech: Robotic Competition and subject: Learning mechatronics from a practical point of view," en *Education Engineering (EDUCON), 2010 IEEE*, 2010, pp. 465-470.
- [82] J. Garcia-Zubia, P. Orduna, D. Lopez-de-Ipina, y G. R. Alves, "Addressing Software Impact in the Design of Remote Laboratories," *Industrial Electronics, IEEE Transactions on*, vol. 56, pp. 4757-4767, 2009.
- [83] A. Gardel, I. Bravo, J. L. Lázaro, y P. A. Revenga, "Remote Automation Laboratory Using a Cluster of Virtual Machines," *Industrial Electronics, IEEE Transactions on*, vol. 57, pp. 3276-3283, 2010.
- [84] G. Gercek y N. Saleem, "Transforming traditional labs into virtual computing labs for Distance Education," *International Journal of Online Engineering (iJOE)*, vol. 4, pp. 46-51, 2008.
- [85] Go, x, J. M. mez-de-Gabriel, A. Mandow, Ferna, J. ndez-Lozano, Garci, y A. J. a-Cerezo, "Using LEGO NXT Mobile Robots With LabVIEW for Undergraduate Courses on Mechatronics," *Education, IEEE Transactions on*, vol. 54, pp. 41-47, 2011.
- [86] L. Gomes y S. Bogosyan, "Current Trends in Remote Laboratories," *Industrial Electronics, IEEE Transactions on*, vol. 56, pp. 4744-4756, 2009.
- [87] J. C. González, "Estructura y titulaciones de Educación Superior en Chile," Organización de Estados Iberoamericanos2006.

- [88] G. C. Goodwin, A. M. Mediolì, W. Sher, L. B. Vlacic, y J. S. Welsh, "Emulation-Based Virtual Laboratories: A Low-Cost Alternative to Physical Experiments in Control Engineering Education," *Education, IEEE Transactions on*, vol. 54, pp. 48-55, 2011.
- [89] C. Gravier, J. Fayolle, B. Bayard, M. Ates, y L. J., "State of the Art About Remote Laboratories Paradigms - Foundations of Ongoing Mutations," *International Journal of Online Engineering (iJOE)*, vol. 4(1), pp. 19-25, 2008.
- [90] R. Guirado, C. Miranda, R. Ayala, I. Martínez, J. Moreno, y A. Gimenez, "Elaboración de herramientas didácticas para la mejora del proceso de enseñanza-aprendizaje-evaluación en las titulaciones de ingeniería," en *// Jornadas de Información sobre el EEES en la Universidad de Almería*, Universidad de Almería, 2009, pp. 1-3.
- [91] J. L. Guzman, K. J. Astrom, S. Dormido, T. Hagglund, M. Berenguel, y Y. Piguet, "Interactive learning modules for PID control," *IEEE Control Systems*, vol. 28, pp. 118-134, 2008.
- [92] J. L. Guzman, K. J. Astrom, S. Dormido, T. Hagglund, Y. Piguet, y M. Berenguel, "Interactive Learning Module: Basic Modelling and Identification Concepts," en *17th IFAC World Congress*, Seoul, Korea, 2008, pp. 14606-14611.
- [93] J. L. Guzmán, M. Domínguez, M. Berenguel, J. J. Fuertes, F. Rodríguez, y P. Reguera, "Entorno de experimentación para la Enseñanza de Conceptos Básicos de Modelado y Control," *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial (RIAI)*, vol. 7, pp. 10-22, 2010.
- [94] J. L. Guzman, T. Hagglund, K. J. Astrom, S. Dormido, M. Berenguel, y Y. Piguet, "Feedforward Control Concepts through Interactive Tools," en *18th IFAC World Congress*, Università Cattolica del Sacro Cuore, Milano, Italy, 2011.
- [95] R. Habash y C. Suurtamm, "Engaging High School and Engineering Students: A Multifaceted Outreach Program Based on a Mechatronics Platform," *Education, IEEE Transactions on*, vol. 53, pp. 136-143, 2010.
- [96] V. J. Harward, J. A. del Alamo, S. R. Lerman, P. H. Bailey, J. Carpenter, K. DeLong, C. Felknor, J. Hardison, B. Harrison, I. Jabbour, P. D. Long, T. Mao, L. Naamani, J. Northridge, M. Schulz, D. Talavera, C. Varadharajan, S. Wang, K. Yehia, R. Zbib, y D. Zych, "The iLab Shared Architecture: A Web Services Infrastructure to Build Communities of Internet Accessible Laboratories " *Proceedings of the IEEE*, vol. 96, pp. 931 - 950, 2008.
- [97] D. Hercog, B. Gergic, S. Uran, y K. Jezernik, "A DSP-Based Remote Control Laboratory," *Industrial Electronics, IEEE Transactions on*, vol. 54, pp. 3057-3068, 2007.
- [98] H. Hermans, J. Burgers, I. Latour, D. J.-t. Brinke, B. Giesbers, J. V. Bruggen, y R. Koper., "Educational model for assessment," presentado en la EARLI, Nicosia, Cyprus, 2005.
- [99] A. M. Hernandez, M. A. Maanas, y R. Costa-Castello, "Learning Respiratory System Function in BME Studies by Means of a Virtual Laboratory: RespiLab," *Education, IEEE Transactions on*, vol. 51, pp. 24-34, 2008.
- [100] L. Hernández, H. Sahli, I. Santana, A. Sartorius, E. Rubio, y R. Ballesteros, "Plataforma para la realización de actividades prácticas a distancia en tiempo

real. Potencialidades de utilización en la educación superior," en *UNIVERSIDAD 2006, La Virtualización de la Educación Superior*, La Habana, Cuba, 2006.

- [101] M. Hernando, R. Galan, I. Navarro, y D. Rodriguez-Losada, "Ten Years of Cybertech: The Educational Benefits of Bullfighting Robotics," *Education, IEEE Transactions on*, vol. 54, pp. 569-575, 2011.
- [102] N. Hosseinzadeh, M. Hesamzadeh, y S. Senini, "A curriculum for electrical power engineering based on project based learning philosophy," en *IEEE International Conference on Industrial Technology, 2009. ICIT 2009*, Monash University – Gippsland, Australia, 2009, pp. 1-5.
- [103] Y. Huan-song y Q. Sun-tao, "Study on the Architecture and Design Mode of Embedded Remote Controlled Web System - Remote Temperature Data," en *Networking and Distributed Computing (ICNDC), 2011 Second International Conference on*, 2011, pp. 227-231.
- [104] *Boletín Oficial del Estado BOE-A-2009-2893*, 2009.
- [105] L. Iñiguez, "Investigación y evaluación cualitativa : bases teóricas y conceptuales," *Atención Primaria*, vol. 23, pp. 496-502, 1999.
- [106] C. A. Jara, F. A. Candela, S. T. Puente, y F. Torres, "Hands-on experiences of undergraduate students in Automatics and Robotics using a virtual and remote laboratory," *Computers & Education*, vol. 57, pp. 2451-2461, 2011.
- [107] C. A. Jara, F. A. Candelas, P. Gil, F. Torres, F. Esquembre, y S. Dormido, "EJS+EjsRL: An interactive tool for industrial robots simulation, Computer Vision and remote operation," *Robotics and Autonomous Systems*, vol. 59, pp. 389-401, 2011.
- [108] C. A. Jara, F. A. Candelas, S. T. Puente, J. Pomares, y F. Torres, "Practical experiences using RobUALab.ejs: a virtual and remote laboratory for Robotics e-learning," en *8th IFAC Symposium on Advances in Control Education*, Kumamoto, 2009.
- [109] C. A. Jara, F. A. Candelas, y F. Torres, "Robolab.ejs: a new tool for robotics e-learning," presentado en la Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV 2008), Duesseldorf, Germany, 2008.
- [110] C. A. Jara, F. A. Candelas, F. Torres, S. Dormido, y F. Esquembre, "Synchronous collaboration of virtual and remote laboratories," *Computer Applications in Engineering Education*, vol. 20, pp. 124-136, 2012.
- [111] C. A. Jara, F. A. Candelas, F. Torres, S. Dormido, F. Esquembre, y O. Reinoso, "Real-time collaboration of virtual laboratories through the Internet," *Computers & Education*, vol. 52, pp. 126-140, 2009.
- [112] S. R. Jernigan, Y. Fahmy, y G. D. Buckner, "Implementing a Remote Laboratory Experience Into a Joint Engineering Degree Program: Aerodynamic Levitation of a Beach Ball," *Education, IEEE Transactions on*, vol. 52, pp. 205-213, 2009.
- [113] L. M. Jimenez, R. Puerto, O. Reinoso, R. P. Neco, y C. Fernandez, "Remote Control Laboratory Using Matlab and Simulink," en *Industrial Electronics, 2007. ISIE 2007. IEEE International Symposium on*, 2007, pp. 2963-2967.

- [114] L. Jing, Z. Cheng, J. Wang, y Y. Zhou, "A Spiral Step-by-Step Educational Method for Cultivating Competent Embedded System Engineers to Meet Industry Demands," *Education, IEEE Transactions on*, vol. 54, pp. 356 - 365, 2011.
- [115] JISC. (2007, 31/08/2011). Effective Practice with e-Assessment. An overview of technologies, policies and practice in further and higher education. 1-52. Disponible: <http://www.jisc.ac.uk/media/documents/themes/elearning/effpraceassess.pdf>.
- [116] M. Jou, C.-P. Chuang, D.-W. Wu, y S.-C. Yang, "Learning robotics in interactive Web-based environments by PBL," en *IEEE Workshop on Advanced robotics and Its Social Impacts, 2008. ARSO 2008*, Taipei, Taiwan, 2008, pp. 1-6.
- [117] A. M. Khamis, "Interacción remota con robots móviles basada en Internet," Tesis Doctoral, Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática, Universidad Carlos III de Madrid, Madrid, 2003.
- [118] S. Kucuk y Z. Bingul, "An off-line robot simulation toolbox," *Computer Applications in Engineering Education*, vol. 18, pp. 41-52, 2010.
- [119] R. Lacuesta y G. Palacios, "A preliminary approach to ECTS estimate within the framework of Electrical and Electronic Engineering based on experience," en *Frontiers in Education Conference, 2009. FIE '09. 39th IEEE*, 2009, pp. M1C-1-M1C-6.
- [120] A. Leva y F. Donida, "Multifunctional Remote Laboratory for Education in Automatic Control: The CrAutoLab Experience," *Industrial Electronics, IEEE Transactions on*, vol. 55, pp. 2376-2385, 2008.
- [121] P. Li y L. Nie, "Remote Control Laboratory Based On LabVIEW," en *Intelligent Computation Technology and Automation, 2009. ICICTA '09. Second International Conference on*, 2009, pp. 84-87.
- [122] E. Lindsay, P. Long, y P. K. Imbrie, "Workshop - remote laboratories: Approaches for the future," en *Frontiers In Education Conference - Global Engineering: Knowledge Without Borders, Opportunities Without Passports, 2007. FIE '07. 37th Annual*, 2007, pp. W1C-1-W1C-2.
- [123] G. Ling y L. Jianqun, "Labview and Internet Based Remote Water Level Control Laboratory," en *Information Technologies and Applications in Education, 2007. ISITAE '07. First IEEE International Symposium on*, 2007, pp. 187-188.
- [124] X. Liu, H. Liu, Z. Bao, B. Ju, y Z. Wang, "A web-based self-testing system with some features of Web 2.0: Design and primary implementation," *Computers & Education*, vol. 55, pp. 265-275, 2010.
- [125] A. J. Lopez-Martin, "Attracting Prospective Engineering Students in the Emerging European Space for Higher Education," *Education, IEEE Transactions on*, vol. 53, pp. 46-52, 2010.
- [126] D. Lopez, R. Cedazo, F. M. Sanchez, y J. M. Sebastian, "Ciclope Robot: Web-Based System to Remote Program an Embedded Real-Time System," *Industrial Electronics, IEEE Transactions on*, vol. 56, pp. 4791-4797, 2009.
- [127] D. Lowe, S. Murray, E. Lindsay, y L. Dikai, "Evolving Remote Laboratory Architectures to Leverage Emerging Internet Technologies," *Learning Technologies, IEEE Transactions on*, vol. 2, pp. 289-294, 2009.

- [128] D. Lowe, S. Murray, L. Weber, M. d. I. Villefromoy, A. Johnston, E. Lindsay, W. Nageswaran, y A. Nafalski, "LabShare: Towards a National Approach to Laboratory Sharing," en *20th Australasian Association for Engineering Education Conference* University of South Aust., Adelaide, Australia, 2009, pp. 458-463.
- [129] J. Ma y J. V. Nickerson, "Hands-on, simulated, and remote laboratories: A comparative literature review," *ACM Comput. Surv.*, vol. 38, p. 7, 2006.
- [130] J. Macias-Guarasa, J. M. Montero, R. San-Segundo, A. Araujo, y O. Nieto-Taladriz, "A project-based learning approach to design electronic systems curricula," *Education, IEEE Transactions on*, vol. 49, pp. 389-397, 2006.
- [131] D. Maillet, "Aspectos básicos para un estudio comparado de sistemas de educación superior. Francia," Organización de Estados Iberoamericanos 2007.
- [132] A. Maiti, "NETLab: An online laboratory management system," en *IEEE Education Engineering (EDUCON)*, Madrid, 2010, pp. 1351 - 1358.
- [133] Marti, x, P., M. Velasco, J. M. Fuertes, A. Camacho, y G. Buttazzo, "Design of an Embedded Control System Laboratory Experiment," *Industrial Electronics, IEEE Transactions on*, vol. 57, pp. 3297-3307, 2010.
- [134] J. F. Martín y S. M. Montero, "Estructura y titulaciones de Educación Superior en Argentina," Organización de Estados Iberoamericanos 2006.
- [135] F. Martinez, L. C. Herrero, y S. de Pablo, "Project-Based Learning and Rubrics in the Teaching of Power Supplies and Photovoltaic Electricity," *Education, IEEE Transactions on*, vol. 54, pp. 87-96, 2011.
- [136] R. Martínez y A. García-Beltrán, *AulaWeb: Manual del profesor*. Madrid, 2002.
- [137] F. Matía, J. A. Cobos, y J. Félez, "Coordinación de contenidos y ECTS en la E.T.S.I. Industriales de la UPM," presentado en la II Jornadas Internacionales UPM sobre Innovación Educativa y Convergencia Europea, Madrid, 2008.
- [138] J. A. Méndez y E. J. González, "A reactive blended learning proposal for an introductory control engineering course," *Computers & Education*, vol. 54, pp. 856-865, 2010.
- [139] Y. Miao y R. Koper, "An efficient and flexible technical approach to develop and deliver online peer assessment," presentado en la CSCL, 2007.
- [140] I. Milentijevic, V. Ciric, y O. Vojinovic, "Version control in project-based learning," *Computers & Education*, vol. 50, pp. 1331-1338, 2008.
- [141] *Real Decreto RD 1125/2003*, 2003.
- [142] S. Murray, D. Lowe, E. Lindsay, V. Lasky, y D. Liu, "Experiences with a hybrid architecture for remote laboratories," en *Frontiers in Education Conference, 2008. FIE 2008. 38th Annual*, 2008, pp. F1B-15-F1B-19.
- [143] M. Ngolo, L. B. Palma, F. Coito, L. Gomes, y A. Costa, "Architecture for remote laboratories based on REST web services," en *E-Learning in Industrial Electronics, 2009. ICELIE '09. 3rd IEEE International Conference on*, 2009, pp. 30-35.

- [144] J. V. Nickerson, J. E. Corter, S. K. Esche, y C. Chassapis, "A model for evaluating the effectiveness of remote engineering laboratories and simulations in education," *Computers & Education*, vol. 49, pp. 708-725, 2007.
- [145] OEI, "Estructura y titulaciones de Educación Superior en Cuba," Organización de Estados Iberoamericanos 2006.
- [146] OEI, "Estructura y titulaciones de Educación Superior en México," Organización de Estados Iberoamericanos 2006.
- [147] J. M. Otero, F. L. Horcajo, y A. P. Atlántida, *Teoría y práctica de las competencias básicas*, 1ra ed., 2011.
- [148] L. Payá, A. Gil, O. Reinoso, M. Juliá, L. Riera, y L. M. Jiménez, "Distributed platform for the control of the Wifibot robot through Internet," en *7th IFAC Symposium on Advances in Control Education* Madrid, España, 2006.
- [149] L. Payá, O. Reinoso, A. Sánchez, A. Gil, y L. Fernández, "An educational tool for mobile robots remote interaction," en *8th IFAC Symposium on Advances in Control Education*, Kumamoto University, Japan, 2009.
- [150] L. Payá, O. Reinoso, F. Torres, y S. T. Puente, "A Web-based Platform for Remote Interaction with Mobile Robots in Higher Education," *International Journal of Engineering Education*, vol. 27, pp. 266-283, 2011.
- [151] G. Pérez, "Estructura y titulaciones de Educación Superior en España," Organización de Estados Iberoamericanos 2006.
- [152] M. S. Pérez, P. Herrero, F. M. Sánchez, y V. Robles, "Are web self-assessment tools useful for training?," *Education, IEEE Transactions on*, vol. 48, pp. 457-463, 2005.
- [153] M. Petrov y A. Aleksieva-Petrova, "Developing a software tools for nontraditional methods of assessment," *International Scientific Conference Computer Science*, vol. 2, pp. 490-495, 2008.
- [154] M. D. Pochulu, "La Educación Superior Argentina hoy, entre instituciones que se transforman y relaciones que se modifican," *Revista Iberoamericana de Educación*, vol. 33, 2004.
- [155] F. J. Prins, D. M. A. Sluijsmans, P. A. Kirschner, y J.-W. Strijbos, "Formative peer assessment in a CSCL environment: a case study," *Assessment & Evaluation in Higher Education*, vol. 30, pp. 417- 444, 2005.
- [156] S. Puente, M. Saiz, M. Castel, y J. A. Palomino, "EEES: Acciones de Innovación Educativa en las titulaciones de Informática de la Universidad de Alicante," en *II Jornadas de Innovación Educativa. El Espacio Europeo de Educación Superior: Una Oportunidad para las Enseñanzas Técnicas*, Zamora, 2007.
- [157] R. Puerto, L. M. Jiménez, y O. Reinoso, "Remote control laboratory via Internet using Matlab and Simulink," *Computer Applications in Engineering Education*, vol. 18, pp. 694–702, 2010.
- [158] R. Puerto, O. Reinoso, R. Neco, N. García, y L. M. Jiménez, "RECOLAB: Laboratorio remoto de control utilizando Matlab y Simulink," *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, vol. 2, pp. 64-72, 2005.

- [159] C. A. Ramos-Paja, J. M. R. Scarpetta, y L. Martinez-Salamero, "Integrated Learning Platform for Internet-Based Control-Engineering Education," *Industrial Electronics, IEEE Transactions on*, vol. 57, pp. 3284-3296, 2010.
- [160] O. Reinoso, A. Gil, L. Payá, D. Úbeda, y M. Ballesta, "Herramientas virtuales para el estudio cinemático de robots paralelos," en *ROBOT 2011. Robótica Experimental*, Sevilla, 2011, pp. 144-149.
- [161] M. T. Restivo, J. Mendes, A. M. Lopes, C. M. Silva, y F. Chouzal, "A Remote Laboratory in Engineering Measurement," *Industrial Electronics, IEEE Transactions on*, vol. 56, pp. 4836-4843, 2009.
- [162] J. J. Rodriguez-Andina, L. Gomes, y S. Bogosyan, "Current Trends in Industrial Electronics Education," *Industrial Electronics, IEEE Transactions on*, vol. 57, pp. 3245-3252, 2010.
- [163] F. Rodriguez, A. Khamis, R. Barber, y M. Salichs, "A Remote Laboratory for teaching mobile robotics," presentado en la IFAC Conference on Telematics Applications and Robotics, Weingarten, Germany, 2001.
- [164] J. M. Rodríguez Valls, "Laboratoris remots per al control de plantes," ESAIL, 2006.
- [165] J. M. Rojas, "Estructura y titulaciones de Educación Superior en Colombia," Organización de Estados Iberoamericanos 2006.
- [166] A. Rojko, D. Hercog, y K. Jezernik, "Educational aspects of mechatronic control course design for collaborative remote laboratory," en *Power Electronics and Motion Control Conference, 2008. EPE-PEMC 2008. 13th*, 2008, pp. 2349-2353.
- [167] A. Rojko, D. Hercog, y K. Jezernik, "Mechatronics E-course for regular students and adults: Realization and comparison of efficiency," en *IEEE Education Engineering (EDUCON)*, Madrid, 2010, pp. 959 - 966.
- [168] A. Rojko, D. Hercog, y K. Jezernik, "Power Engineering and Motion Control Web Laboratory: Design, Implementation, and Evaluation of Mechatronics Course," *Industrial Electronics, IEEE Transactions on*, vol. 57, pp. 3343-3354, 2010.
- [169] D. T. Rover y P. D. Fisher, "Student self-assessment in upper level engineering courses," en *28th Annual Frontiers in Education*, Washington, DC, 1998, pp. 980-986.
- [170] L. Salas-Morera, J. Berral-Yeron, I. Serrano-Gomez, y P. Martinez-Jimenez, "An Assessment of the ECTS in Software Engineering: A Teaching Experience," *Education, IEEE Transactions on*, vol. 52, pp. 177-184, 2009.
- [171] E. Sancristobal, M. Castro, J. Harward, P. Baley, K. DeLong, y J. Hardison, "Integration view of Web Labs and Learning Management Systems " en *IEEE Education Engineering (EDUCON)*, Madrid, 2010, pp. 1409 - 1417.
- [172] E. Sancristobal, M. Castro, S. Martin, M. Tawkif, A. Pesquera, R. Gil, G. Diaz, y J. Peire, "Remote labs as learning services in the educational arena," en *IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, Amman, 2011, pp. 1189 - 1194.
- [173] I. Santana, "Administración de sistemas de laboratorios a distancia," MSc, Departamento de Automática y Sistemas Computacionales, Universidad Central de Las Villas, Santa Clara, 2004.

- [174] I. Santana, M. Ferre, L. Hernández, R. Aracil, y E. Pinto, "Experiencias del uso de laboratorios remotos en la enseñanza de la automática," *Revista Electrónica de ADA (Relada)*, vol. 5, pp. 320-329, 2011.
- [175] I. Santana, M. Ferre, L. Hernández, R. Aracil, Y. Rodríguez, y E. Pinto, "Aplicación del Sistema de Laboratorios a Distancia en Asignaturas de Regulación Automática.," *Revista Iberoamericana de Informática Industrial (RIAI)*, vol. 7, pp. 46-53, 2010.
- [176] I. Santana, M. Ferre, E. Izaguirre, R. Aracil, y L. Hernandez, "Remote laboratories for education and research purposes in automatic control systems," *Industrial Informatics, IEEE Transactions on*, 2012.
- [177] I. Santana, L. Hernández, M. Ferre, R. Aracil, y G. Eisendrath, "Design of servo system in state space using Distance Laboratory System (DLS)," en *CSEDU 2009: PROCEEDINGS OF THE FIRST INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTER SUPPORTED EDUCATION*, Lisboa, Portugal, 2009, pp. 296-300.
- [178] I. Santana, L. Hernández, M. Ferre, R. Aracil, E. Pinto, y Á. García, "Distance Practices in Subjects of Automatic Control," en *IEEE Engineering Education 2010 – The Future of Global Learning in Engineering Education (EDUCON)*, Madrid, 2010, pp. 967 - 972.
- [179] J. Santos, J. Mendonca, y J. C. Martins, "Instrumentation remote control through internet with PHP," en *Virtual Environments, Human-Computer Interfaces and Measurement Systems, 2008. VECIMS 2008. IEEE Conference on*, 2008, pp. 41-44.
- [180] A. Sartorius, L. Hernández, R. Aracil, E. Rubio, y I. Santana, "Platform for distance development of complex automatic control strategies using Matlab," *The International Journal of Engineering Education (IJEE) Special issue on Matlab and Simulink in Engineering Education*, vol. 21, pp. 790-797, 2005.
- [181] A. Sartorius, L. Hernandez, E. Rubio, I. Santana, y R. Aracil, "Virtual and remote laboratory for robot manipulator control study," *International Journal of Engineering Education*, vol. 22, pp. 702-710, 2006.
- [182] K. Savas y H. Erdal, "Automatic control simulation environment system (ACSES) designed as a virtual tool for control education," *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol. 2, pp. 5233-5237, 2010.
- [183] M. Savin-Baden, "Challenging models and perspectives of problem-based learning," en *Management of change: Implementation of problem-based and project based learning in engineering*, E. d. Graaff y A. Kolmos, Eds., ed Rotterdam, The Netherlands: Sense Publishers, 2007, pp. 9-29.
- [184] F. M. Schaf y C. E. Pereira, "Integrating Mixed-Reality Remote Experiments into Virtual Learning Environments Using Interchangeable Components," *Industrial Electronics, IEEE Transactions on*, vol. 56, pp. 4776-4783, 2009.
- [185] C. Schmid, "Grid supported virtual laboratories with collaboration in engineering education," *International Journal of Online Engineering (iJOE)*, vol. 4, pp. 55-62, 2008.
- [186] P. Sládek y L. P. J. Válek, "Remote laboratory - new possibility for school experiments," *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol. 12, pp. 164-167, 2011.

- [187] J. Solis y A. Takanishi, "Practical issues on robotic education and challenges towards Roboethics Education," en *The 18th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication, 2009. RO-MAN 2009.* , Toyama International Conference Center, Japan, 2009, pp. 561 - 565.
- [188] A. Souto y J. L. Bravo, "Implementación European Credit Transfer System en un curso de Programación en Ingeniería," *Revista de Educación*, vol. 346, pp. 487-511, 2007.
- [189] S. Srivastava, V. Sukumar, P. S. Bhasin, y D. Arun Kumar, "A Laboratory Testbed for Embedded Fuzzy Control," *Education, IEEE Transactions on*, vol. 54, pp. 14-23, 2011.
- [190] M. Straatsma, D. Cox, C. Cstis, y R. Bartz, "Development and Enhancement of RLab - A Remote Laboratory System," en *Systems and Networks Communications, 2009. ICSNC '09. Fourth International Conference on*, 2009, pp. 159-164.
- [191] J.-H. Su, C.-S. Lee, C.-C. Hsieh, K.-E. Lin, J.-H. Chang, y G.-H. Lin, "A Hands-On Laboratory for Introductory Automatic Control Courses," en *17th IFAC World Congress*, Seoul, Korea, 2008, pp. 9737-9742.
- [192] G. Sziebig, B. Takarics, y P. Korondi, "Control of an Embedded System via Internet," *Industrial Electronics, IEEE Transactions on*, vol. 57, pp. 3324-3333, 2010.
- [193] P. Tiernan, "Enhancing the learning experience of undergraduate technology students with LabVIEW(TM) software," *Computers & Education*, vol. 55, pp. 1579-1588, 2010.
- [194] F. Torres, F. Candelas, S. Puente, F. Ortiz, J. Pomares, P. Gil, M. Baquero, y A. Belmonte, "Laboratorios Virtuales para el aprendizaje práctico de asignaturas de ingeniería," presentado en la I Jornadas de Redes de Investigación en Docencia Universitaria, Instituto de Ciencias de la Educación, Universidad de Alicante, 2003.
- [195] F. Torres, F. A. Candelas, S. T. Puente, J. Pomares, P. Gil, y F. Ortiz, "Experiences with Virtual Environment and Remote Laboratory for Teaching and Learning Robotics at the University of Alicante," *International Journal of Engineering Education*, vol. 22, pp. 766-776, 2006.
- [196] J. Trevelyan, "Towards Cost Effective On-Line Laboratories," presentado en la World Congress Networked Learning in a Global Environment, Berlin, 2002.
- [197] W. M. Trochim. (2006, 12 diciembre 2011). Likert Scaling. Disponible: <http://www.socialresearchmethods.net/kb/scallik.php>.
- [198] D. Úbeda, A. Gil, L. Payá, Ó. Reinoso, y L. Fernández, "Experiences in the students' assesment in a computer science applied to engineering subject," en *International Technology, Education and Development*, Valencia, España, 2010, pp. 228-233.
- [199] S. Uran, D. Hercog, y K. Jezernik, "MATLAB Web Server and Web-based Control Design Learning," en *IEEE Industrial Electronics, IECON 2006 - 32nd Annual Conference on*, 2006, pp. 5420-5425.

- [200] S. Uran, D. Hercog, y K. Jezernik, "Remote Control Laboratory with Moodle Booking System," en *Industrial Electronics, 2007. ISIE 2007. IEEE International Symposium on*, 2007, pp. 2978-2983.
- [201] S. Uran y K. Jezernik, "Virtual Laboratory for Creative Control Design Experiments," *Education, IEEE Transactions on*, vol. 51, pp. 69-75, 2008.
- [202] M. Valles, J. L. Díez, J. L. Navarro, y A. Valera, "Remote Access to MATLAB-based Laboratories: Application to the Fuzzy Control of a DC Motor," *International Journal of Engineering Education*, vol. 26, pp. 1343-1353, 2010.
- [203] H. Vargas, J. Sanchez, C. A. Jara, F. A. Candelas, O. Reinoso, y J. L. Díez, "Docencia en Automática: Aplicación de las TIC a la realización de actividades prácticas a través de Internet," *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial (RIAI)*, vol. 7, pp. 35-45, 2010.
- [204] H. Vargas, J. Sánchez, C. A. Jara, F. Torres, S. Dormido, y F. A. Candelas, "A Network of Automatic Control Web-Based Laboratories," *IEEE Transactions on Learning Technologies*, vol. 4, pp. 197-208, 2011.
- [205] F. Vázquez, J. Jiménez, J. Olivares, J. Garrido, y M. Ortiz, "Laboratorio remoto para prácticas a distancia de regulación," ed. Córdoba: Universidad de Córdoba, 2008.
- [206] A. G. Vicente, M. Uxó, I. B. Ochoa, J. L. L. Galilea, y P. A. R. del Toro, "Remote Automation Laboratory Using a Cluster of Virtual Machines," *Industrial Electronics, IEEE Transactions on*, vol. 57, pp. 3276-3283, 2010.
- [207] F. D. Von Borstel y J. L. Gordillo, "Model-Based Development of Virtual Laboratories for Robotics Over the Internet," *Systems, Man and Cybernetics, Part A: Systems and Humans, IEEE Transactions on*, vol. 40, pp. 623-634, 2010.
- [208] J. S. Welsh, T. Daredia, F. Sobora, L. Vlacic, y G. C. Goodwin, "Simulated versus Hardware Laboratories for Control Education: A Critical Appraisal," en *17th World Congress The International Federation of Automatic Control (IFAC)*, Seoul, Korea, 2008.
- [209] T. Wolbank, P. Bauer, P. Macheiner, y M. Vogelsberger, "Distance laboratory for teaching industrial electronics," en *34th IEEE IECON*, 2008, pp. 3497-3502.
- [210] T. Wolf, "Assessing Student Learning in a Virtual Laboratory Environment," *Education, IEEE Transactions on*, vol. 53, pp. 216-222, 2010.
- [211] Q. Yuliang, L. Guo-Ping, y Z. Geng, "Design and implementation of a service-oriented web-based control laboratory," en *Systems, Man and Cybernetics, 2009. SMC 2009. IEEE International Conference on*, 2009, pp. 4645-4650.
- [212] Q. Yuliang, L. Guo-Ping, Z. Geng, y H. Wenshan, "NCSLab: A Web-Based Global-Scale Control Laboratory With Rich Interactive Features," *Industrial Electronics, IEEE Transactions on*, vol. 57, pp. 3253-3265, 2010.
- [213] D. G. Zutin, M. E. Auer, J. Bocanegra, R. López, A. Martins, J. Ortega, y A. Pester, "TCP/IP communication between server and client in multi user remote lab applications," *International Journal of Online Engineering (iJOE)*, vol. 4(3), pp. 42-45, 2008.